GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT


Universitätsbibliothek Freie Universität Berlin

BAND 8 1967

Herausgeber

MAX BENSE, Stuttgart, GERHARD EICHHORN †, HARDI FISCHER, Zürich
HELMAR FRANK, Waiblingen/Berlin, GOTTHARD GÜNTHER, Champaign/Urbana (Illinois)
RUL GUNZENHÄUSER, Esslingen/Stuttgart, ABRAHAM A. MOLES, Paris
PETER MÜLLER, Karlsruhe, FELIX VON CUBE, Berlin, ELISABETH WALTHER, Stuttgart

Schriftleiter Prof. Dr. Helmar Frank

MIT EINEM BEIHEFT

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener and Julian Bigelow

Behavior, Purpose and Teleology

Reproduktion aus

Philosophy of Science

Vol. X 1943

Z 1967 . 2799

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN

EMPIRISCHE UNTERSUCHUNG ZU EINEM INFORMATIONSPSYCHOLOGISCHEN GEDÄCHTNISMODELL

von Harald Riedel, Berlin

I Problemstellung

Allein die Tatsache, daß ein Großteil der seit der Jahrhundertwende unternommenen experimentalpsychologischen Untersuchungen Probleme des menschlichen Gedächtnisses und Lernvermögens behandelt, weist nicht nur darauf hin, für wie wesentlich seit langem eine umfassende Kenntnis der Lern- und Gedächtnisprozesse gehalten wird, sondern auch darauf, wie schwierig es ist, eine möglichst allgemeine Beschreibung jener Vorgänge zu geben. Zudem lassen sich jene auf dem S - R - Modell basierenden angelsächsischen speziellen Gedächtnis- und Lernmodelle kaum für die informationspsychologische Beschreibung verwerten, weil bei ihnen gerade die wesentliche Variable informationspsychologischer Systeme, die Variable "Zeit", nicht berücksichtigt wird (vgl. z.B. Estes, 1950, Bush und Mosteller 1955, Miller und McGill 1952).

H. Frank gibt in seinem informationspsychologischen Modell der Informationsverarbeitung im Menschen außer dem Kurzspeicher, welcher als "Ort der Gegenwärtigung" Nachrichten lediglich für die Gegenwartsdauer $T \leqq 10$ sec bewahrt, zwei für die menschlichen Gedächtnisprozesse verantwortliche Speicher an, das "Kurzgedächtnis" und das "Langgedächtnis", die sich durch ihre Speicher- wie Zuflußkapazitäten erheblich voneinander unterscheiden (vgl. z.B. Frank, 1961, 1962, 1964).

Frank übernahm den plausiblen Ansatz von Förster (1940), die Aufnahme und das Vergessen von Nachrichten durch das menschliche Gedächtnis sei ein stochastischer Vorgang, und gelangt zu den zwei wesentlichen Beziehungen zwischen Zuflußkapazität (C_v), Speicherkapazität (K_v), Informationsmenge eines zu einem bestimmten Zeitpunkt eingeschriebenen Materials (I_o) und Informationsmenge des nach t Sekunden noch vorhandenen Materials (I_t)

$$(1) \qquad I_t = I_o \cdot e^{-\alpha t}$$

$$(2) \qquad K_v = \frac{C_v}{\alpha} .$$

Danach berechnete Frank zunächst in grober Näherung folgende Werte für die Kapazitäten beider Speicher:

Zuflußgeschwindigkeit des Kurzgedächtnisses $C_{vk} \approx 0.4 \ldots 0.8$ bit/sec

Zuflußgeschwindigkeit des Langgedächtnisses $C_{vl} \approx 0.1 \; C_{vk}$

Speicherkapazität des Kurzgedächtnisses $K_{vk} \approx 1 \ldots 2 \cdot 10^{3}$ bit

Speicherkapazität des Langgedächtnisses $K_{vl} \approx 10^{5} \ldots 10^{8}$ bit .

Frank empfahl weiterhin eine genauere Berechnung der Werte aus der Ebbinghaus-Vergessenskurve.

Die Notwendigkeit einer präziseren Bestimmung jener Werte ergab sich in jenem Augenblick, da begonnen wurde, ein Modell für die algorithmische Lehralgorithmierung zu entwerfen, worin nach Frank (1965) die Berechnung der Wahrscheinlichkeiten, mit welchen bestimmte Aussagen oder Wörter zu definierten Zeitpunkten im Gedächtnis gespeichert sind, eine sehr wesentliche Rolle spielt.

Bemühungen des Verfassers, aus den Werten mehrerer empirischer Untersuchungen die gewünschten Daten zu berechnen, führten zu der Notwendigkeit, den zunächst übernommenen Ausdruck (1) abzuwandeln: Solange nicht genaue Werte für die Zuflußkapazitäten C_{vk} bzw. C_{vl} bekannt sind, kann nicht angegeben werden, wie genau der Prozentsatz des nach t sec wiedergegebenen von dem sofort nach Abschluß des Lernvorganges reproduzierten Material durch den Quotienten $\frac{I_t}{I_o}$ tatsächlich beschrieben wird. Falls nämlich der Lernstoff der Versuchsperson eine längere Zeit dargeboten wurde, als gerade zur Erlernung benötigt wurde, dürften Teile desselben auch mehr als nur einmal abgespeichert worden sein; andererseits kann nicht festgestellt werden, welcher Anteil der im Kurzgedächtnis gespeicherten Nachrichten noch während der Lernzeit (oder auch danach) ins Langzeitgedächtnis übernommen werden konnte. Es empfiehlt sich daher, einen variablen (zunächst unbekannten) Faktor in (1) einzufügen, der von der Lernzeit, aber auch von der Lernfähigkeit der Versuchspersonen abhängen kann und den man als "Überlern-" oder "Unterlernfaktor" bezeichnen könnte. Man erhält dann aus (1)

$$(3) \qquad I_t^{*} = y \cdot I_o^{*} \cdot e^{-\alpha t}$$

oder

$$(4) \qquad y = \frac{I_t^{*}}{I_o^{*}} \cdot e^{+\alpha t}$$

(Hier bezeichnet der Quotient $\frac{I_t^{*}}{I_o^{*}}$ den Anteil des nach t sec Reproduzierten von dem unmittelbar nach Lernschluß Wiedergegebenen, nicht also den Anteil der

tatsächlich gespeicherten Informationsmengen!) Unter Anwendung dieser Beziehung wertete der Verfasser Untersuchungen von Ebbinghaus (1885), Alin (1964), Homolka (1953), van Dusen und Schlosberg (1948), Jenkins und Dallenbach (1924), Bahrick (1965), Postman (1954) und Hovland (1951) aus. Zwar errechneten sich teils recht unterschiedliche Werte für die Zerfallskonstante α bei Vergessenszeiten zwischen 1 Stunde und 27 Wochen, jedoch legten die Ergebnisse die Vermutung nahe, der menschliche Vergessensprozeß würde sich präziser beschreiben lassen, falls in dem Modell von Frank (1964) statt zweier sich in ihren Kapazitäten unterscheidender Speicher mindestens drei ebensolche vorausgesetzt würden.

Da die aus den genannten Untersuchungen gewonnenen Werte jedoch aufgrund sehr verschiedener experimenteller Bedingungen entstanden sind, lag es nahe, ein Experiment zur Klärung der entstandenen Fragen zu unternehmen.

II Experimente zur Bestimmung von Behaltenswerten

Die Untersuchung wurde in der Zeit vom 6. 6. bis 24. 8. 1966 innerhalb der Arbeit des Instituts für Kybernetik an der Pädagogischen Hochschule Berlin (Leiter: Prof. Dr. H. Frank) durchgeführt.

a) Material

Als Lernmaterial diente in Experiment I ein 60 Wörter langer sinnvoller Text; er wurde einem Lesebuch für das 3. und 4. Schuljahr (Hirschbold 1958) entnommen (siehe Tafel I).

> Der Postpeter
> "Unser Postbote heißt mit seinem bürgerlichen Namen Peter Moser. Aber in der ganzen Ortschaft wird der fleißige Mann in der blauen Postleruniform nur der Postpeter genannt. Wenn er seine dickbauchige Umhängetasche durch die Straßen trägt, kennt man ihn schon von weitem. Jeden Morgen um sechs Uhr fährt der Postpeter auf dem Rad zu seiner Arbeitsstätte, zur Post neben dem Bahnhof."

TAFEL I

In Experiment II wurden 20 aus einer Reihe von sinnfreien Silben der Bauart KVK ausgewählt, die vom Verfasser bereits in früheren Versuchen zur Bestimmung der Altersabhängigkeit von Werten für die Zuflußgeschwindigkeit des Kurzzeitgedächtnisses (Riedel 1964) benutzt worden waren. 20 weitere dienten der Durchführung von Anwärmversuchen (siehe Tafel II).

b) Apparatur

Der Text des Experiments I wurde auf ein Tonband gesprochen, anschließend mit Abständen von je 5 Minuten zwischen je 2 Textanfängen neunmal kopiert. Die Wiedergabe erfolgte mit einem Gerät der Firma Telefunken.

Serie 1	Serie 2	Serie 3	Serie 4
TUR	REL	BUN	JUS
NOF	DAB	HEG	NOF
SEP	MUR	MIF	WEL
WUR	FIN	RAM	TAB
KIL	TES	KUL	LIM
FAB	MIP	POD	REZ
GIF	HAF	FES	BUT
BAM	DON	MUP	POX
POS	WEX	GIK	TEL
JEX	JIT	LAT	WAK

(Bei der Zusammenstellung der Silbenreihen wurden die Regeln zur Bildung von Silben von G.E. Müller und Schumann (vgl. Neumann 1920) berücksichtigt.)

TAFEL II

Die Silben des Experiments II wurden aus käuflichen Normbuchstaben (Majuskeln) gelegt, photographiert und für jede Silbe 10 Diapositive hergestellt. Die Dias wurden von einem Karussellprojektor der Firma Kodak auf eine Leinwand projiziert. Die Zeitspannen für die Projektion einer Silbe und für den Abstand zwischen zwei Silben wurden von einem elektronischen Zeitschalter bestimmt. (Für den Bau des Steuergerätes sowie für die Erledigung der Photoarbeiten sei Herrn R. Kistner aus dem Institut für Kybernetik gedankt.)

c) Versuchspersonen

Als Versuchspersonen nahmen an den Experimenten jeweils die 85 bis 90 Schüler der Klassen 9/1, 9/2, 9/V1, 9/V2 der Leistikowschule (OPZ) in Berlin-Zehlendorf teil. (Der Verfasser dankt dem Rektor der Schule, Herrn F. Sotscheck sowie den Klassenlehrern Frau J. Krüger, Frau E. Lüdicke, Fräulein U. Geißmann und Herrn K. A. Noak für die Ermöglichung der Versuchsdurchführung.) Die Verteilung der Versuchspersonen in den einzelnen Teilexperimenten geht aus Tafel III hervor.

d) Methode und Durchführung

Experiment I

Nach der Anordnung von Alin (1964) erhielt jede Versuchsperson ein Heft aus acht fortlaufend numerierten Zetteln, auf welchen Schreiblinien vorgezeichnet waren. Die Versuchspersonen hörten den Text einmal vom Tonband, erhielten dann 5 Minuten Zeit für die schriftliche Wiedergabe des Behaltenen, hörten

Sitzung	Klasse	Experiment I Reproduktion nach ...	Experiment II Reproduktion nach...	Silbenreihe Haupt-Versuch	Vor-vers.
a)	9/2	1 Tag			
b)	9/V 1	6 Tage			
c)	9/V 2	4 Wochen			
d)	9/1	11 Wochen			
e)	9/1		A) 10 min	1	(2)
f)	9/2		28 min	1	(2)
g)	9/1		1 Std. 11 min	3	(4)
h)	9/V 1		1 Std. 17 min	3	(4)
i)	9/V 1		B) 1 Std. 30 min	1	(2)
j)	9/V 2		4 Std. 16 min	3	(4)
k)	9/V 2		24 Std.	1	(2)

Aus schulorganisatorischen Gründen konnte leider nicht jede der aufgeführten Klassen zu je einem Versuch mit kürzerer (< 1 Std.) und längerer (> 1 Std.) Vergessenszeit hergangezogen werden.

TAFEL III

nach Ablauf der 5 Minuten den Text ein zweitesmal, wobei sie den von ihnen reproduzierten Text mit dem gerade vom Tonband gesprochenen vergleichen konnten, schlugen die nächste Seite ihres Zettelheftes auf, um wiederum während der folgenden 5-Minuten-Pause zu reproduzieren. Das Verfahren wurde solange fortgesetzt, bis die Versuchspersonen bei Vergleich des von ihnen wiedergegebenen Textes mit dem vom Tonband abgespielten keinen Fehler mehr fanden. Jedoch wurde der Versuch auf jeden Fall spätestens nach der achten Wiederholung abgebrochen. Die Versuchspersonen erhielten folgende Anweisung:

"Ihr werdet jetzt an einem Versuch teilnehmen, der eigentlich gar nichts mit der Schule zu tun hat. Deshalb braucht Ihr auch nicht zu befürchten, daß das Ergebnis, das Ihr hier erzielt, einen Einfluß auf Eure Schulzensuren hat. Außerdem interessieren in diesem Versuch nicht die Leistungen von einzelnen Schülern, sondern nur die Durchschnittsergebnisse der Klasse.

Falls jemand während des Versuchs einmal nicht aufgepaßt haben sollte, so sage er mir das bitte am Ende des Versuchs.

Ihr sollt in diesem Versuch einen kurzen Text lernen. Ihr habt jeder ein kleines Zettelpaket erhalten; auf den einzelnen Zetteln sollt Ihr das niederschreiben, war Ihr behalten habt. Legt Euch daher einen Schreiber griffbereit. Ihr werdet nach einem Glockenzeichen den Text zunächst im ganzen hören. Wenn wieder ein Glockenschlag ertönt, wißt Ihr, daß der Text beendet ist. Ihr schreibt dann

sofort alles, was Ihr von dem Text behalten habt, auf die erste Seite Eures Zettelpakets. Ihr könnt das in aller Ruhe tun, denn Ihr habt fünf Minuten Zeit dazu. Achtet darauf, daß Ihr den Text möglichst wörtlich niederschreibt. Natürlich wird Euch das nach einmaligem Anhören des Textes nicht sehr gut gelingen. Das schadet jedoch nichts. Schreibt den Text so auf, wie Ihr ihn im Gedächtnis habt. Dann hört Ihr den Text ein zweites Mal und vergleicht dabei den gesprochenen Text mit dem, was Ihr aufgeschrieben habt. Ihr dürft aber nichts auf Eurem Blatt berichtigen! Bei diesem zweiten Anhören des Textes werdet Ihr natürlich etwas mehr von dem Text im Gedächtnis behalten haben. Wieder nach einem Glokkenzeichen knickt Ihr die erste, also die beschriebene Seite Eures Zettelpaketes nach hinten um, so daß Ihr das Geschriebene nicht mehr lesen könnt. Nun schreibt Ihr auf, was Ihr nach dieser Wiederholung des Textes behalten habt. Wieder nach fünf Minuten hört Ihr den Text ein drittes Mal. Ihr vergleicht wieder mit dem Geschriebenen, knickt die beschriebene Seite um und schreibt wieder das Behaltene auf. Der Versuch wird solange fortgesetzt, bis Ihr beim Vergleich des gehörten Textes mit dem geschriebenen feststellt, daß Ihr Wort für Wort richtig notiert habt. Dann ist für Euch der Versuch beendet.

Legt dann Euer Schreibwerkzeug hin und verhaltet Euch ruhig, damit Ihr Eure Klassenkameraden nicht stört, die noch weiter am Versuch beteiligt sind.

Während des gesamten Versuchs ist es wichtig, daß Ihr in völliger Ruhe arbeitet und nicht sprecht. Achtet auch nicht darauf, was Euer Nachbar schreibt; Ihr würdet dadurch Eure eigene Leistung verfälschen.

Füllt nun bitte zunächst den Kopf des ersten Blattes aus, also oben links Namen, Vornamen, Alter und Klasse, in der Mitte das Datum und die Stunde und rechts Serie (...) und T (...)."

Den Versuchspersonen wurde nicht mitgeteilt, daß der Text zu einem späteren Zeitpunkt nochmals abgefragt werden würde. Nach den aus Tafel III ersichtlichen Zeiträumen wurden die Versuchspersonen aufgefordert, den Text möglichst wortgetreu auf das erste Blatt eines neuen, diesmal nur vier Seiten enthaltenden Heftes wiederzugeben. Danach wurde der Text auf die bereits beschriebene Weise nochmals gelernt.

Experiment II

Alle Sitzungen wurden in dem für diesen Zweck sehr gut geeigneten "Film- und Fernsehraum" der Leistikowschule in Klassensituation durchgeführt. Der Versuchsleiter schrieb zunächst die Silbe "TEM" an die Tafel und gab folgende Anweisung:

"Ihr werdet jetzt an einem Versuch teilnehmen, der eigentlich gar nichts mit der Schule zu tun hat. Deshalb braucht Ihr auch nicht zu befürchten, daß das Ergebnis, das Ihr hier erzielt, einen Einfluß auf Eure Schulzensuren hat. Außerdem

interessieren in diesem Versuch nicht die Leistungen von einzelnen Schülern, sondern nur die Durchschnittsergebnisse der Klasse.

Ihr sollt in diesem Versuch ähnliche Silben aus je drei Buchstaben lernen, wie sie an der Tafel stehen. Die Silben bedeuten nichts; versucht daher auch nicht, Euch etwas darunter vorzustellen. Lernt die Silben so, als wären sie Wörter einer fremden Sprache. Die einzelnen Silben werden nacheinander mit einem Lichtbildgerät an die Wand projiziert. Ohne eine Pause wird dann die ganze Silbenreihe nochmals mehrere Male gezeigt. Ihr versucht während dieser Zeit, möglichst viele Silben zu lernen. Solange die Silben gezeigt werden, dürft Ihr keinen Schreiber in der Hand haben. Erst wenn Ihr dazu aufgefordert werdet, schreibt Ihr sofort alle Silben, die Ihr behalten habt, auf die ausgeteilten Blätter."

Es folgte der Anwärmversuch mit neunmaliger Projektion der 8 Silben (der Serie 1 in Experiment II A, der Serie 3 in II B) mit dem zeitlichen Abstand zwei Sekunden von Silbe zu Silbe (1,3 Sekunden Exposition jeder Silbe; 0,7 Sekunden Pause). Die gelernten Silben wurden sofort nach Abschluß der Darbietung auf einem vorbereiteten Blatt niedergeschrieben. Die Antwortblätter wurden eingesammelt, und bis zum Beginn des Hauptversuchs hörten die Versuchspersonen Schlagermusik. Die Darbietung der 10 Silben der Reihe 2 (Experiment II A) und 4 (Experiment II B) und die Wiedergabe der gelernten Silben erfolgte auf die gleiche Weise wie im Anwärmversuch. Bei den Sitzungen e) und f) wurde bis zum Zeitpunkt der Reproduktion nach 10 Minuten bzw. 28 Minuten ebenfalls Schlagermusik gehört, wie vorher als "Belohnung" angekündigt worden war. In den Sitzungen g) bis k) wurde die relativ kurze Zeit bis zum Beginn der Unterrichtspause auf dieselbe Art ausgefüllt. Danach hatten die Versuchspersonen normalen Unterricht bis die Silben nach den entsprechenden Behaltenszeiten abgefragt wurden. In den Sitzungen g), i), k), an denen die Versuchspersonen das zweite Mal teilnahmen, mußten die Schüler, während sie die Musik anhörten, schriftliche Subtraktions- und Additionsaufgaben erledigen.

e) Auswertung

Experiment I

Es wurde für jede Sitzung berechnet

A: die Durchschnittszahl von Versuchen, die zur Erlernung des Textes durchgeführt wurden,

B_1: die Durchschnittszahl der Wörter, die nach Ablauf der Behaltenszeit richtig reproduziert wurden (als richtig wurde jedes Wort gewertet, das in derselben Reihenfolge wie im dargebotenen Text reproduziert wurde. Eingefügte Wörter wurden nicht gezählt, Rechtschreibefehler nicht berücksichtigt),

B_2: die Durchschnittszahl der nach der letzten Textwiederholung beim Lernvorgang richtig wiedergegebenen Wörter (einige Versuchspersonen hatten nicht tatsächlich alle 60 Wörter entsprechend der Reihenfolge des Lerntextes niedergeschrieben; den oder die Fehler hatten sie beim Vergleich des von ihnen reproduzierten Textes mit dem vom Band gesprochenen nicht entdeckt),

B: der Anteil des durchschnittlich Behaltenen vom durchschnittlich Gelernten $\left(\frac{B_1}{B_2}\right)$,

C_1: die Anzahl der (theoretisch) für das vollständige Erlernen des Textes bei den einzelnen Versuchspersonen notwendigen Versuche (waren alle 60 Wörter richtig wiedergegeben, wurde die Anzahl der benötigten Versuche gewertet; bei 58 oder 59 richtig reproduzierten Wörtern wurde 1 Versuch, bei 57 und weniger Wörtern wurden 2 Versuche für die Wertung dazugezählt),

C_2: die Anzahl der für das Wiederlernen des vollständigen Textes notwendigen Versuche bei jeder Versuchsperson (Wertung wie bei C_1),

C: die Durchschnittszahl der prozentualen Ersparnisanteile aller Versuchspersonen

$$\frac{\sum \left(1 - \frac{C_2}{C_1}\right)}{N}$$

D_1: der Durchschnittswert aller Werte C_1,

D_2: der Durchschnittswert aller Werte C_2,

D: der Ersparnisanteil $\left(\frac{C_1}{C_2}\right)$

Experiment II

Für jede Sitzung wurde berechnet:

E_1: Die Durchschnittszahl der unmittelbar nach Lernschluß richtig wiedergegebenen Silben aus dem Anwärmversuch (in Experiment II A: Silben der Serie 1, in Experiment II B: Silben der Serie 3; die Reihenfolge der reproduzierten Silben wurde bei der Auswertung nicht berücksichtigt),

E_2: die Durchschnittszahl der unmittelbar nach Lernschluß richtig wiedergegebenen Silben aus dem Hauptversuch (in Experiment II A: Silben der Serie 2, in Experiment II B: Silben der Serie 4),

F_2: die Durchschnittszahl der nach der Behaltenszeit in der richtigen Spalte wiedergegebenen Silben des Hauptversuchs,

F: der Anteil des durchschnittlich Behaltenen vom durchschnittlich Gelernten $(\frac{F_2}{E_2})$,

G_2: die Durchschnittszahl der nach der Behaltenszeit überhaupt wiedergegebenen Silben des Hauptversuchs,

G: der Anteil des durchschnittlich Behaltenen vom durchschnittlich Gelernten $(\frac{G_2}{E_2})$,

H: der Durchschnittswert des jeweiligen Anteils des Behaltenen vom Gelernten aller Versuchspersonen.

f) Ergebnisse

Die Ergebnisse von Experiment I sind in Abbildung 1 und Tafel IV wiedergegeben.

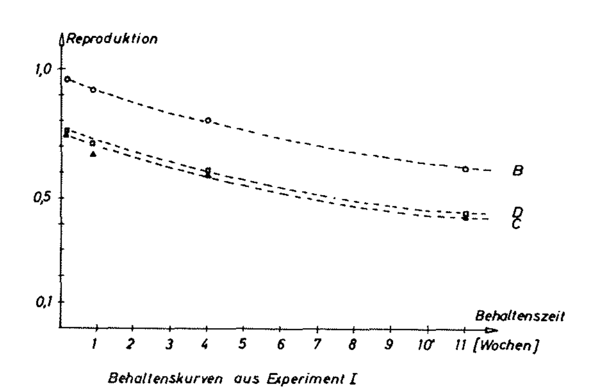
Die Anzahl der Lernversuche (A) in den einzelnen Sitzungen unterscheiden sich nicht signifikant ($p > 0.05$). Dasselbe gilt für die Anzahl der sofort nach dem Lernen reproduzierten Wörter (B_2) und für die Zahl von Versuchen, die theoretisch zum vollständigen Erlernen des Textes notwendig gewesen wären (C_1). Dagegen differieren die entsprechenden Werte, die nach den unterschiedlichen Behaltenszeiten erzielt wurden, sehr signifikant ($p \ll 0.01$). Eine Varianzanalyse der in Abbildung 1 dargestellten Werte B, C und D erübrigt sich, da sie durch bloße Umrechnung aus B_1, B_2, C_1, C_2 entstanden sind. So liegen auch alle Werte von B, C und D mit einer einzigen Ausnahme (Cb) auf den theoretischen Behaltenskurven. Die unterschiedliche Ordinatenlage der ansonst parallel verlaufenden Kurven stimmt mit der bekannten Tatsache überein, daß sich die gemessenen Behaltenswerte je nach Meßmethode verändern (vgl. z. B. Hovland, 1951, S. 647). Aus dem sehr gleichmäßigen Anstieg der Kurven läßt sich bereits eine gemeinsame Zerfallskonstante vermuten, sofern die eingangs dargestellte Hypothese als richtig unterstellt wird, die unterschiedliche Ordinatenlage resultiere aus den einzelnen Meßmethoden zuzuordnenden unterschiedlichen "Überlernfaktoren".

Die Ergebnisse aus Experiment II sind in Abbildung 2 und Tabelle V dargestellt. Es fällt zunächst auf, daß die Anzahl der unmittelbar nach dem Lernversuch wiedergegebenen Silben im Hauptversuch (E_2) - auch prozentual - deutlich höher liegen als im Anwärmversuch (E_1).

Auswertung	Sitzung	M	S. D.	df	F	p
A	a	6.941	0.937			
	b	7.381	0.785			
	c	6.550	1.532			
	d	7.048	0.898			
				3/75	1.959	> 0.05
B_1	a	56.71	4.055			
	b	53.86	6.342			
	c	46.60	9.308			
	d	35.76	1.347			
				3/75	19.45	≪ 0.01
B_2	a	59.41	1.286			
	b	5829	2.510			
	c	58.05	2.355			
	d	57.81	3.065			
				3/78	1.450	> 0.05
C_1	a	7.250	1.260			
	b	7.958	1.306			
	c	7.870	1.569			
	d	7.760	1.422			
				3/88	1.032	> 0.05
C_2	a	1.824	0.706			
	b	2.667	1.208			
	c	3.263	0.964			
	d	4.429	1.094			
				3/74	20.83	≪ 0.01
D	a	0.242	0.094			
	b	0.287	0.105			
	c	0.388	0.077			
	d	0.558	0.101			
				3/51	27.09	≪ 0.01

TAFEL IV


Bild 1



Behaltenskurven aus Experiment I

TAFEL V

Auswertung	Sitzung	M	S.D.	df	F	p
E_1	e	6.521	1.410			
	f	6.320	1.516			
	g	7.227	2.411			
	h	7.000	1.041			
	i	6.957	2.255			
	j	6.545	1.269			
				5/133	0.924	> 0.05
E_2	e	8.130	1.483			
	f	8.280	1.114			
	g	7.360	1.895			
	h	7.364	1.990			
	i	8.500	1.190			
	j	7.435	1.930			
	k	8.318	1.017			
				6/157	2.342	< 0.05 > 0.01
F_2	e	6.550	2.636			
	f	5.783	1.743			
	g	5.167	2.095			
	h	4.100	2.234			
	i	5.167	2.838			
	j	3.316	2.272			
	k	3.950	2.012			
				6/143	4.677	< 0.01
G_2	e	7.100	1.947			
	f	6.435	2.061			
	g	5.167	2.095			
	h	4.682	2.400			
	i	5.750	2.420			
	j	4.455	2.147			
	k	6.045	1.821			
				6/150	4.079	< 0.01
H	e	0.763	0.261			
	f	0.675	0.158			
	g	0.657	0.241			
	h	0.543	0.255			
	i	0.526	0.263			
	j	0.493	0.290			
	k	0.468	0.214			
				6/136	3.792	< 0.01

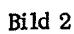
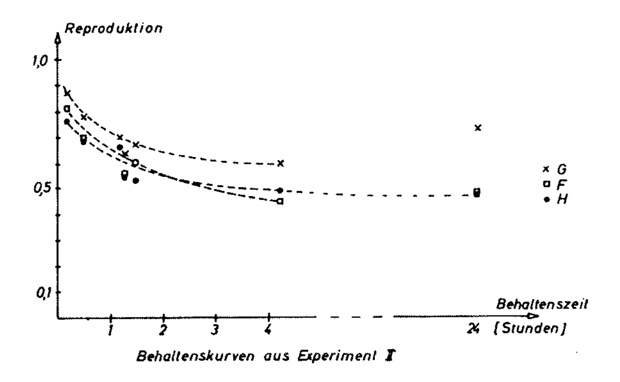


Bild 2



Behaltenskurven aus Experiment I

Aus diesem Grunde wurden später auch lediglich die Behaltenswerte für die Silben der Serie 2 bzw. 4 berücksichtigt. Im Gegensatz zu Experiment I unterscheiden sich hier auch die Lernleistungen der einzelnen Klassen ($0.05 > p > 0.01$). Da jedoch die Behaltenswerte jeweils in Relation zu den Lernwerten berechnet werden, konnte die Auswertung trotz dieses Effektes vorgenommen werden.

Obwohl die einzelnen Durchschnittswerte für das Behalten relativ große Standardabweichungen aufweisen, unterscheiden sie sich sehr signifikant ($p < 0.01$), und es ergeben sich verhältnismäßig gleichartige (theoretische) Behaltenskurven (Abb. 2). Den Kurven F, G, H gemeinsam ist die im Behaltensbereich 10 Minuten bis 1 Stunde sehr stark und im Bereich 2 bis 4 (24 Stunden) entschieden flachere Krümmung. Das deutet bereits darauf hin, daß eine Beschreibung der Kurven mit nur einer Zerfallskonstanten schwer möglich sein dürfte.

Anmerkung

Die Werte der Sitzung k) (24 Stunden) sind nur der Vollständigkeit wegen angegeben. Sie konnten weiteren Berechnungen jedoch nicht zugrundegelegt werden, da die Reproduktion nicht wie alle anderen unter Aufsicht des Versuchsleiters erfolgte. Die abnorme Höhe der Werte muß darauf zurückgeführt werden, daß bei der im Klassenverband durchgeführten schriftlichen Wiedergabe das Abschreiben einzelner Schüler nicht ausgeschlossen wurde.

Eine Erklärung jener Daten durch das bekannte (in dem vorliegenden Modell jedoch nicht berücksichtigte) Phänomen der Reminiszenz dürfte hier kaum zutreffen.

Zusammentassung

An 3 mal 80 bis 90 Schülern des neunten Schuljahres wurde der Anteil des Behaltenen vom Gelernten nach Behaltenszeiten zwischen 10 Minuten und 11 Wochen gemessen. Als Lernmaterial dienten ein sinnvoller Text und zwei Serien sinnfreier Silben. Die Ergebnisse sollen in einer späteren Arbeit zur Berechnung von Daten für die Zerfallskonstanten und Speicherkapazitäten hypothetischer Speicher herangezogen werden.

Schrifttumsverzeichnis

Alin, L.H. — Experimental studies in verbal versus figural learning. Ahnquist u. Wiksell, 1964, 173, 186

Bahrick, H.P. — The ebb of retention. Psych. Review 1965, 72, 65

Bush, R.R. u. Mosteller, F. — Stochastic models for learning. New York, Wiley 1955

Ebbinghaus, H. — Über das Gedächtnis. Duncker u. Humblot 1885, 103

Estes, W.K. — Toward a statistical theory of learning. Psych. Review 57, 1950, 94-107

Förster, H. — Das Gedächtnis. Deuticke 1948, 2 und 10

Frank, H. — Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses. GrKG 2/1, 1961, 17-24

Frank, H. — Kybernetische Grundlagen der Pädagogik Agis 1962, 99 - 103 und 136 - 138

Frank, H. — Über einen Ansatz zu einem probabilistischen Gedächtnismodell. GrKG 5/2, 1964, 43-50

Frank, H. — Vereinfachtes Adressatenmodell für Gedächtnisleistung. 1965 (unveröffentlichtes Manuskript)

Hirschbold, B. — Der Postpeter. In: Lesebuch, 3. u. 4. Schuljahr, Bayerischer Schulbuchverlag, 1958, 291

Homolka, J. — Gruppenuntersuchungen über die Vergessenskurve. Diss. Wien 1953. Zitiert nach Rohracher, H.: Einführung in die Psychologie, 1963, Koban u. Schwarzenberg, 257

Hovland, C.J. — Human learning and retention. In Stevens: Handbook of exp. Psychol. Wiley 1951, 647

Jenkens, J.J. u. Dallenbach, K.G. — Obliviscence during sleep and wakening. Amer. J. Psy. 1924, 35, 609

Miller, G.A. u. McGill, W.J. — A statistical description of verbal learning. Psychometrica 17, 1952, 369-396

Neumann, E. — Ökonomie und Technik des Gedächtnisses. 1920, Klinkhardt

Postman, L. — Learned principles of organization memory. Psych. Monogr. 1954, 68, 374

Riedel, H. — Die Altersabhängigkeit informationspsychologischer Parameter und ihre mögliche Bedeutung für Lehralgorithmen. In: Frank, H. Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, II, Klett, Oldenbourg 1964

van Dusen, F. u. Schlosberg, H. — Further study of the retention of verbal and motor skills. J.exp. Psy. 1948, 38, 527

Eingegangen am 2. Oktober 1966

Anschrift des Verfassers: Harald Riedel, 1 Berlin 37, Eiderstedter Weg 27

DIE BESTIMMUNG VON SPEICHERDATEN UND ZERFALLSKONSTANTEN FÜR EIN INFORMATIONSPSYCHOLOGISCHES GEDÄCHTNISMODELL

von Harald Riedel, Berlin

In einer früheren Arbeit (Riedel, 1967*) schlug der Verfasser vor, mittels Einführung eines sogenannten "Überlernfaktors" Zerfallskonstanten und Kapazitäten hypothetischer Speicher zu bestimmen und jene Werte in einem speziellen Modell von Frank (1965) zu verwenden, nach welchem die Wahrscheinlichkeiten berechnet werden können, mit denen Wörter oder Aussagen zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms im Gedächtnis des Adressaten gespeichert sind. Die Behaltenswerte, die sich aus der in derselben Arbeit behandelten empirischen Untersuchung ergaben, wurden entsprechend jenem Vorschlag zur Berechnung der gesamten Speicherdaten herangezogen.

a) Zerfallskonstanten und Überlernfaktoren

Die Werte für die Zerfallskonstanten wurden mit Hilfe eines graphischen Verfahrens ermittelt. Nach Ausdruck (4) in der oben zitierten Publikation

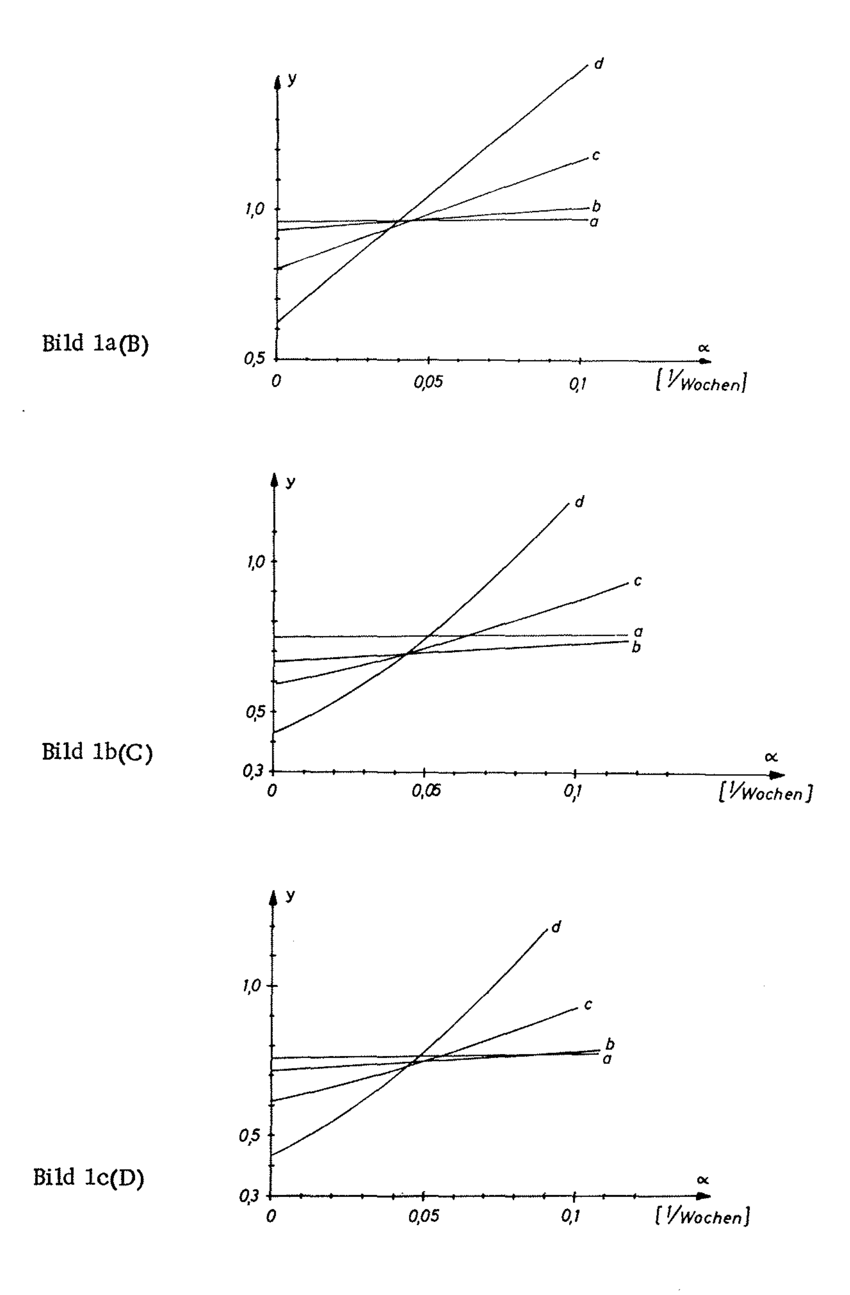
$$y = \frac{I_t^*}{I_o^*} \cdot e^{\alpha t} \tag{1}$$

wurden für die einzelnen Meßwerte Funktionskurven berechnet und gezeichnet, Sofern sich alle gemessenen Behaltenswerte ein und derselben Meßmethode durch (1) und mit einer gemeinsamen Zerfallskonstanten beschreiben lassen, müssen sich die zugehörigen Funktionskurven in einem Punkte schneiden.

Zu Experiment I

Die Abbildungen 1a - 1 c zeigen die Funktionskurven für die Auswertungen B, C und D. Die Kurven von B schneiden sich gegenseitig im Bereich 0.037 bis 0.048 $\frac{1}{\text{Wochen}}$ für α. Bei C ergibt sich ein gemeinsamer Schnittpunkt für b, c und d (Behaltenszeit 6 Tage, 4 Wochen, 11 Wochen) bei $\alpha = 0.039 \frac{1}{\text{Wochen}}$, die Kurve für a (Behaltenszeit 1 Tag) liegt außerhalb. Entsprechendes gilt für D ($\alpha = 0.048$). Es könnte daraus geschlossen werden, daß die Zerfallskonstante nicht mehr für die Behaltenszeit von 1 Tag Gültigkeit besitzt. Dagegen jedoch spricht die Darstellung der Kurven von B. Aus diesem Grund wurden aus der Behaltens-

* in diesem Heft


y
d
c
1,0
b
a
0,5
0
0,05
0,1
α
[1/Wochen]
Bild 1a(B)
y
d
1,0
c
a
b
0,5
0,3
0
0,05
0,1
α
[1/Wochen]
Bild 1b(C)
y
d
1,0
c
b
a
0,5
0,3
0
0,05
0,1
α
[1/Wochen]
Bild 1c(D)

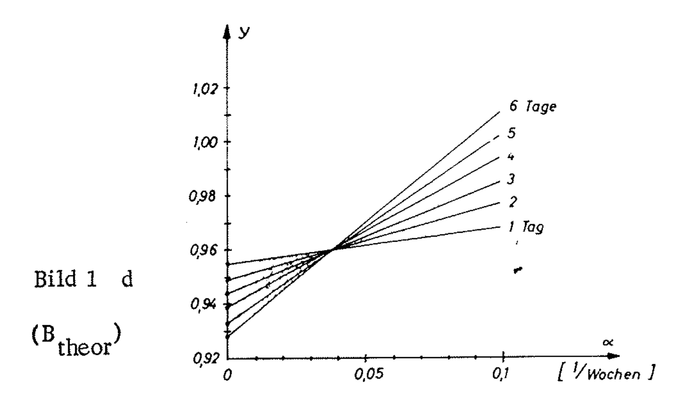


Bild 1 d

(B_{theor})

kurve B in Abb.1(a. a. 0) theoretische Zwischenwerte für die Behaltenszeiten 1, 2, 3, 4, 5, 6 Tage ermittelt und für sie die Funktionskurven gemäß (1) berechnet. Abbildung 1d gibt das Ergebnis wieder. Es ist ersichtlich, daß alle jene Werte mittels der gemeinsamen Konstanten $\alpha = 0.038 \frac{1}{\text{Wochen}}$ beschrieben werden können. Es kann daher geschlossen werden, daß die Behaltenswerte für Behaltenszeiten zwischen 1 Tag und 11 Wochen durch eine gemeinsame Zerfallskonstante beschreibbar sind, die im Bereich von 0.037 bis $0.048 \frac{1}{\text{Wochen}}$ oder $6.29 \cdot 10^{-8}$ bis $7.94 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{sec}}$ liegt. Der Mittelwert für α berechnet sich zu $6.95 \cdot 10^{-8} \frac{1}{\text{sec}}$. Als Werte für den Überlernfaktor ergeben sich bei B und B-theoretisch $y = 0.95$, bei C $y = 0.69$ und bei D $y = 0.75$.

Zu Experiment II

Die Funktionskurven für die Auswertungen F, G und H sind in Abbildung 2a und 2 b dargestellt. Es wird ersichtlich, daß sich für die Behaltenszeit zwischen einer und vier Stunden ein Wert zwischen $1.39 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{sec}}$ und $2.06 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{sec}}$ ergibt. Es kann nicht erstaunen, daß die Werte einen solch breiten Streubereich einnehmen, denn zur Berechnung wurden die tatsächlich gemessenen und nicht die auf der theoretischen Behaltenskurve liegenden Werte herangezogen, da aufgrund der relativ großen Standardabweichungen die Angabe eines theoretischen Behaltenswertes sehr zweifelhaft sein müßte. Der Durchschnittswert für die Zerfallskonstante beträgt $\alpha = 1.76 \; 10^{-5} \frac{1}{\text{sec}}$. Die Überlernfaktoren liegen im Bereich zwischen 0.615 und 0.745, im Durchschnitt bei $y = 0.670$. Für die Behaltenszeit zwischen 10 und 30 Minuten resultiert eine um eine Zehnerpotenz größere Zerfallskonstante, die im Bereich zwischen $1.06 \; 10^{-4}$ und $1.42 \; 10^{-4}$

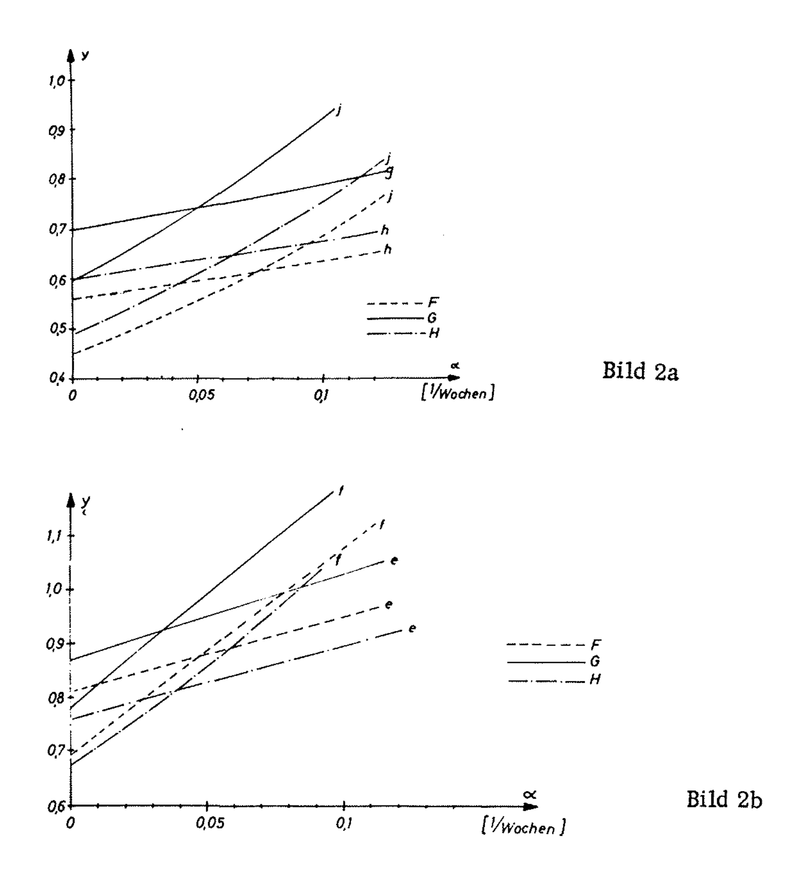


Bild 2a

Bild 2b

$\frac{1}{sec}$ liegt, ihr Durchschnittswert beträgt $\alpha = 1.23 \; 10^{-4} \; \frac{1}{sec}$. Die Daten für den Überlernfaktor streuen im Bereich von 0.83 bis 0.93 und ergeben im Mittel y = 0.88.

Die Untersuchung liefert also als wesentliches Ergebnis, daß zur Beschreibung von Gedächtnisinhalten nach Speicherzeiten bis zu 11 Wochen drei Speicher angenommen werden können, die sich in ihren Zerfallskonstanten deutlich unterscheiden. Dabei ist es für den vorliegenden Zweck, nämlich die möglichst genaue Beschreibung und Vorhersage, mit welchen Wahrscheinlichkeiten einmal eingelernte Gedächtnisinhalte nach bestimmten Zeitspannen noch gespeichert sind, zunächst unwesentlich, ob die einzelnen Speicher auch tatsächlich physiologisch realisiert sind, was jedenfalls zum jetzigen Zeitpunkt ziemlich zweifelhaft zu sein scheint.

b) Zufluß- und Speicherkapazitäten

Als Voraussetzung für die Anwendung der berechneten Werte zum genannten Zweck müssen zusätzlich die Daten für Zuflußkapazitäten und die Speicherkapazitäten bestimmt werden. Zumindest für die beiden nach Experiment II angenommenen Speicher lassen sich jene Werte ohne Schwierigkeiten mit einiger Genauigkeit ebenfalls aus dem Experiment selbst berechnen. Durch die Einführung des Überlernfaktors y wurde ja ein Maß dafür gewonnen, zu welchem Anteil der Lernstoff in die jeweiligen Speicher während des für den Lernvorgang zur Verfügung stehenden Zeitraumes eingeschrieben werden konnte. Andererseits sind die Informationsmenge des Lernstoffes sowie die Lernzeit bekannt. Die Information pro Silbe berechnet sich zu 10.6 bit (vgl. Riedel, 1964); im Hauptversuch wurden während der 160 Sekunden Lernzeit durchschnittlich 7.91 Silben gelernt. Es ergibt sich also ein durchschnittlicher Zufluß $C_{v160} = 0.524$ bit/sec. Dieser Wert liegt erheblich höher als der früher vom Verfasser erhaltene (Riedel 1965, S. 50), stimmt dementgegen jedoch sehr gut mit den informationstheoretisch ausgewerteten Angaben von Hovland (1939, S. 625) für Studenten überein. Durch Multiplikation dieses Wertes für den durchschnittlichen Lernfluß mit den aus Experiment II e, f und II g, h, i, j erhaltenen Daten für die Überlernfaktoren werden die gesuchten Werte für die Zuflußkapazitäten beider Speicher zu $C_{v10\,min - 30\,min} = 0.462$ bit/sec bzw. $C_{v1\,Std. - 4\,Std.} = 0.351$ bit/sec ermittelt.

Macht man weiterhin den plausiblen Ansatz, es gelte folgende Beziehung zwischen der Informationsaufnahmegeschwindigkeit eines Speichers zum Zeitpunkt Null und zum Zeitpunkt t:

$$(2) \qquad C_{vt} = C_{vo} \cdot e^{-\alpha t}$$

so erhält man bei Rechnung nach der sicheren Seite folgende Werte für die Zuflußgeschwindigkeit der beiden Speicher:

$$1. \qquad C_{vo} = \frac{0.462}{e^{-600 \cdot 1.23 \cdot 10^{-4}}} = 0.497 \text{ (bit/sec)}$$

und

$$2. \qquad C_{vo} = \frac{0.351}{e^{-3600 \cdot 1.76 \cdot 10^{-5}}} = 0.374 \text{ (bit/sec)} .$$

Als Werte für die Speicherkapazitäten der beiden Speicher erhält man entsprechend Gleichung (2) in Riedel (1967)

$$(3) \qquad K_v = \frac{C_{vo}}{\alpha}$$

$$1. \qquad K_v = \frac{0.497}{1.23 \cdot 10^{-4}} = 4.04 \cdot 10^3 \quad \text{(bit)}$$

und

$$2. \qquad K_v = \frac{0.374}{1.76 \cdot 10^{-5}} = 2.12 \cdot 10^4 \quad \text{(bit)}$$

Die Berechnung entsprechender Werte für den aus Experiment I erhaltenen Speicher ist nicht leicht möglich, da keine genauen Angaben über den Informationsbetrag des zu lernenden Materials gemacht werden können. Allerdings kann eine vorsichtige Schätzung vorgenommen werden, indem der - sicher recht tiefe - Wert von ca. 5 bit/Wort für die subjektive Information nach Bürmann u. a. (1963, S. 85) verrechnet wird. In durchschnittlich 6,98 Versuchen (A) wurden im Mittel 58.4 Wörter (B_2) gelernt; für jeden Versuch standen 5 Minuten Lernzeit zur Verfügung. Demnach wurde der Lernstoff während der 300 Sekunden mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von

$$\frac{58.4 \cdot 5}{6.98 \cdot 300} \text{bit/sec} = 0.139 \text{ bit/sec}$$

aufgenommen.

Durch Multiplikation mit dem Überlernfaktor $y_c = 0.69$ (es wird der kleinste y-Wert gewählt, da zur sicheren Seite geschätzt werden soll) ergibt sich.

$$C_{v\,1\,\text{Tag}\,-\,11\,\text{Wochen}} = 0.139 \cdot 0.69 = 0.096 \quad \text{(bit/sec)}$$

Wieder nach (3) wird

$$3. \qquad C_{vo} = \frac{0.096}{e^{-8.65 \cdot 10^3 \cdot 6.95 \cdot 10^{-8}}} \approx 0.096 \quad \text{(bit/sec)}$$

Man erhält weiter nach (3)

$$3. \qquad K_v = \frac{0.096}{6.95 \cdot 10^{-8}} = 1.38 \cdot 10^6 \quad \text{(bit)} .$$

Die Informationstheoretische Darstellung der Lernkurve von Hovland (1939) zwingt zu dem Schluß, daß zur genauen Beschreibung ein weiterer Speicher mit einer Speicherzeit bis zu ca. 5 Minuten angenommen werden müßte. Die Bestimmung der Kapazitätswerte für diesen Speicher soll einer weiteren Arbeit vorbehalten bleiben. Der Einfachheit halber sei dieser Speicher hier als Speicher 1 und die in der vorliegenden Arbeit besprochenen als Speicher 2, 3, 4 bezeichnet. Eine Zusammenstellung der Speicherdaten gibt Tafel I.

Als wesentlich für die algorithmische Lehralgorithmierung - genauer: für die Berechnung von durchschnittlichen Speicherwahrscheinlichkeiten einzelner Wörter oder Aussagen zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms - können zunächst nur die Speicher S_1, S_2, S_3 angesprochen werden, solange jedenfalls nicht eine Programmierung des Unterrichts über Zeiträume von Wochen hinaus möglich ist, was seinerseits eine völlige Veränderung der jetzt üblichen Soziostruktur bedingen würde. Dennoch mag ein Vergleich der Werte für die Zerfallskonstante des Speichers S_4 aus dieser Untersuchung und jenen aus einem Alin-Experiment berechneten interessant sein. Nach Alin (1964, S. 173) erhält man den Wert $\alpha = 1.2 \cdot 10^{-8}$. Es könnte eventuell die Folgerung abgeleitet werden, daß sich zumindest die Zerfallskonstanten im Alter zwischen 15 und 20 Jahren nicht mehr wesentlich verändern.

TAFEL I

Bezeichnung	Speicherzeit	Zerfallskonstante (1/sec)	Zufluß-kapazität (bit/sec)	Speicher-kapazität (bit)
S_1	bis 5 min			
S_2	bis 30 min	$1.23 \cdot 10^{-4}$	0.497	$4.04 \cdot 10^{3}$
S_3	bis 4 Std.	$1.76 \cdot 10^{-5}$	0.347	$2.12 \cdot 10^{4}$
S_4	bis 11 Wochen	$6.95 \cdot 10^{-8}$	$\approx$ 0.1	$\approx 10^{6}$

Hypothetisch angenommene Speicher, ihre Kapazitäten, Zerfallskonstanten und Speicherzeiten

Weiterhin ist von Interesse, daß die Zuflußkapazität des Speichers S_4 mit C_{vo4} $\approx$ 0.1 bit/sec deutlich über jener von Frank (1964) aufgrund einer groben Schätzung angegebenen liegt, obwohl bei der hier vorgenommenen Berechnung eher ein zu kleiner Wert hätte resultieren müssen. Bei künftiger Verwendung des Frank´schen Modells mit Kurz- und Langzeitgedächtnis sollte daher eher der eben genannte Wert 0.1 bit/sec für die Zuflußkapazität des Langspeichers verwendet werden.

Abschließend sei nochmals bemerkt, daß es sich bei der vorliegenden Arbeit um den Versuch handelt, für ein sehr spezielles Verfahren nach Frank (1965), wonach die mittleren Wahrscheinlichkeiten, mit denen Wörter oder Textabschnitte zu bestimmten Zeitpunkten eines Lehrprogramms berechnet werden sollen, Daten zu liefern, die eine möglichst genaue Beschreibung und Vorhersage zulassen. Die Frage, ob die einzelnen Speicher auch physiologisch realisiert sind, bleibt davon unberührt.

Zusammenfassung

Aus den Ergebnissen einer früheren Untersuchung wurden Werte für die Zerfallskonstanten dreier hypothetischer Speicher sowie deren Zufluß- und Speicherkapazitäten berechnet. Der Berechnung liegt die Hypothese zugrunde, der Anteil des nach der Behaltenszeit Reproduzierten von dem unmittelbar nach Lernschluß Wiedergegebenen sei das Produkt aus dem Anteil der zu den entsprechenden Zeitpunkten gespeicherten Informationsmenge und einer mit "Überlernfaktor" bezeichneten Variablen, die von der Lernzeit und der Lernfähigkeit der Versuchsperson abhängig ist.

Schrifttumsverzeichnis

Alin, L. H. — Experimental studies in verbal versus figural learning. Ahnquist u. Wisell. 1964, 173, 186

Frank, H., Bürmann, G. u. Lorenz, L. — Informationstheoretische Untersuchungen über Rang und Länge deutscher Wörter, GrKG 1963

Frank, H. — Vereinfachtes Adressatenmodell für Gedächtnisleistung. 1965 (unveröffentlichtes Manuskript)

Hovland, C.J. — Studies in rote learning theory V. J. exp. Psy. 25 1939, 625

Riedel, H. — Die Altersabhängigkeit informationspsychologischer Parameter und ihre mögliche Bedeutung für Lehralgorithmen, Klett u. Oldenbourg, 1964

Riedel, H. — Empirische Untersuchungen zur kybernetischen Pädagogik, Verlag Schnelle, 1965

Riedel, H. — Empirische Untersuchung zu einem informationspsychologischen Gedächtnismodell, GrKG 8/1. In diesem Heft.

Eingegangen am 15. Oktober 1966

Anschrift des Verfassers:
Harald Riedel, 1 Berlin 37, Eiderstedter Weg 27

ÜBER DEN INFORMATIONSGEHALT VON BILDERN

Von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

1. Problemstellung

Die Messung des Informationsgehaltes von graphischen Darstellungen, Photographien, Gemälden und dergleichen, also kurz: von "Bildern", stößt gewöhnlich auf die Schwierigkeit, daß das zugrundezulegende Repertoire nicht eindeutig festliegt. Zwar ist diese Voraussetzung auch in anderen Fällen, insbesondere bei "sinnvollen" Texten, nicht streng erfüllt: es ist z.B. unbekannt, welche Wörter eines Textes auf dem Buchstabenrepertoire und welche auf dem Wortrepertoire apperzipiert werden. Jedoch fällt dies bei solchen digital-artigen Nachrichten, die im wesentlichen kombinatorisch aus den Elementen eines relativ kleinen Repertoires (Buchstaben) aufgebaut sind, kaum ins Gewicht, da die Superierung hier überwiegend durch Komplexbildung (Zusammensetzung von Buchstaben zu Wörtern!) und kaum durch Klassenbildung (Abstraktion von der zufälligen Schreibweise eines Wortes!) erfolgt. Man kann also hier damit rechnen, daß der Informationsgehalt, den man durch Addition der Informationsgehalte der Unterzeichen an ihren einzelnen Auftrittsstellen (d.h. unter voller Berücksichtigung der stochastischen Abhängigkeiten) erhält, nicht oder nur unwesentlich zu groß sein wird. Daher ist der Shannonsche Ratetest ein legitimes Mittel zur Informationsbestimmung von Texten in einer Sprache mit wenig orthographischen Freiheitsgraden, obgleich sicher großenteils nicht auf dem Buchstabenrepertoire apperzipiert wird.

In einzelnen Fällen lassen sich auch Bilder als digital-artige Nachrichten auffassen und mit statistischen Methoden oder mittels eines Ratetests informationell ausmessen. Beispiele bilden gewisse Kompositionen von Vasarely (vgl. Frank, 1964), deren Bausteine unmittelbar erkennbar sind, aber auch Figuren der statistischen Grafik von Nees (1964), deren Informationsgehalt vollständig in einem Steuerlochstreifen eines automatischen Zeichentischs, also in digitaler Form, gegeben ist. In der Mehrzahl der Fälle steckt hinter Bildern jedoch die Idee eines Kontinuums von Zeichen; auch die prinzipielle Möglichkeit der Rasterung in Wahrnehmungselemente hilft nur scheinbar weiter, weil in fast allen praktischen Fällen dabei ein unglaubhaft hoher Informationsgehalt gemessen wird. Der Grund dafür dürfte zweifellos die Vernachlässigung der hinter der Gestaltwahrnehmung steckenden klassenbildenden (also Information unterdrückenden) Superierung sein.

Offenbar scheint also der größte und zugleich der am schwierigsten zu bestim-

mende Anteil an der Gesamtinformation eines Bildes dessen ästhetische Information zu sein. Der cartesische Ansatz der Kybernetik, Schwierigkeiten getrennt zu bewältigen zu suchen, legt also nahe, zunächst auf die Messung der syntaktischen Information, der Gesamtinformation und auch der ästhetischen Information eines Bildes zu verzichten und stattdessen zu versuchen, den Differenzwert $i_{syn} - i_{ästh}$ zu ermitteln. Handelt es sich um ein Bild mit semantischer Funktion, dann gibt dieser Differenzwert die semantische Information an, andernfalls den Informationsgehalt des Bildes bei Apperzeption auf einem bestimmten Superzeichenrepertoire. (Zur Terminologie vergleiche Frank, 1966, S. 88-95.) Man kann voraussetzen - und dies ist der Grundgedanke der gegenwärtigen Untersuchung - daß es möglich ist, $i_{syn} - i_{ästh}$ vollständig durch eine geeignete Bildbeschreibung zu erfassen. Wenn ferner die Bildbeschreibung ("Text") so beschaffen ist, daß sie nichts von der ästhetischen Information des Bildes erfaßt, gilt

$$i_{syn} - i_{ästh} = i_{syn}(\text{Bild}) - i_{syn}(\text{Bild}/\text{Text}) = t(\text{Text, Bild}).$$

Dabei bezeichnet allgemein $t(x_i, y_j)$ die in x_i über y_j steckende Transinformation. Da diese eine symmetrische Funktion ist:

$$t(x_i, y_j) = t(y_j, x_i) ,$$

folgt wegen

$$t(\text{Bild, Text}) = i_{syn}(\text{Text}) - i_{syn}(\text{Text}/\text{Bild})$$

für die gesuchte Differenz

$$i_{syn}(\text{Bild}) - i_{ästh}(\text{Bild}) = i_{syn}(\text{Text}) - i_{syn}(\text{Text}/\text{Bild}).$$

Minuend und Subtrahend der rechten Seite können je durch einen getrennten Ratetest (ohne Kenntnis oder mit Kenntnis des Bildes) gemessen werden. Wir übertragen also mit dieser Vorgehensweise das Verfahren von Weltner (1964) zur Messung des Lernerfolgs auf ein weitgehend analoges Problem der Informationsästhetik.

Man könnte nun ferner von der Hypothese ausgehen, der Mensch apperzipiere ein Bild durch Steuerung seiner Aufmerksamkeit und Augenbewegung in der Weise, daß die apperzipierte Information auf 1 bit/SZQ eingeregelt wird. Dann könnte vermutet werden, daß die gesamte Apperzeptionszeit (in SZQ) ohne Kenntnis der Bildbeschreibung $i_{syn} + (i_{syn} - i_{ästh}) = 2 \cdot i_{syn} - i_{ästh}$ (in bit) ist, nach

Kenntnis der Bildbeschreibung jedoch - nach der Überlegung in Frank (1966, S. 93) - entweder gleichbleibt oder äußerstenfalls auf $i_{ästh}$ sinkt.

Eine praktische Bedeutung haben solche Informationsermittlungen z. B. beim algorithmischen Lehralgorithmieren (Frank, 1966, S. 104).

2. Meßmethode

Zur Analyse der Betrachtungszeit der auf das Format 18 cm x 24 cm gebrachten Bilder wurde ein Gerät konstruiert, das durch eine von der Versuchsperson verschiebbare Maske gesteuert wird. Die Maske erlaubt die Betrachtung eines unverdeckten Bildausschnitts von 3 cm x 3 cm Fläche. Der Rest ist (je nach Maskenart) voll abgedeckt bzw. er enthält eine undeutlich durchscheinende Zone um den offenliegenden Bildausschnitt. (Bei der tatsächlichen Versuchsdurchführung wurde auf diese Verfeinerung verzichtet.) Das Gerät enthält einen Impulsgeber, der einen Impuls pro SZQ einem mit der Maske starr verbundenen Arm zuleitet, welcher seinerseits über Stifte die Impulse einem Raster von 6 x 8 gegeneinander isolierten Metallplättchen überträgt. Jedes Plättchen ist mit einem postüblichen Impulszähler verbunden. Die Differenz der 48 Zählerstände vor und nach dem Versuch entspricht den Betrachtungszeiten (in SZQ), die auf die 48 Teilflächen des Bildes verwendet werden. Da jedoch damit gerechnet werden muß, daß in den meisten Zeitintervallen ein Bildausschnitt betrachtet wird, der sich nicht mit einem der 48 gedachten Felder deckt sondern zwei oder vier aneinander angrenzende Felder überdeckt, wurde der Kontakt zu den Metallplättchen statt durch nur einen Schleifkontakt durch fünf Kontaktspitzen hergestellt; jede davon erhielt - phasenverschoben gegen die vier anderen - alle 5 SZQ einen Impuls. Vier der Kontaktspitzen markieren die Eckpunkte eines Quadrats von etwas weniger als 3 cm Seitenlänge, die fünfte den Mittelpunkt. Je nach der Stellung der Maske liefern also alle fünf Kontakte ihren Impuls nacheinander auf dasselbe Metallplättchen, oder nur 3 davon, während zwei auf das benachbarte ableiten, oder das hauptsächlich betrachtete Rasterfeld erhält 2/5 der Impulse, ein mit dem Eckpunkt anschließendes Feld 1/5 und die beiden gemeinsamen Nachbarfelder auch je 1/5 der Impulse.

Verwendet wurden drei Bilder (Bild 1, 4, 7) mit je einer Bildbeschreibung ("Text"). Die Vpn - meist Studierende der Pädagogik - betrachteten teils zuerst das Bild und hatten anschließend den Text der zugehörigen Bildbeschreibung durchzuraten, teils wurde die umgekehrte Reihenfolge gewählt. Den Vpn wurde vor der Bildbetrachtung mitgeteilt, daß sie anschließend in wenigen Sätzen notieren sollten, was das Bild darstellte und was ihnen an ihm bemerkenswert erschien, wobei sie möglichst wenig Zeit für die Betrachtung verwenden sollten.

Das Rateverfahren war weder das sehr ermüdende von Shannon (1951) noch die 1. Weltnersche Vereinfachung davon, welche ein eigens hierfür konstruiertes Hilfsgerät voraussetzt (Weltner 1965, 1966). Vielmehr durfte die Vp bis zu fünfmal das jeweils folgende Zeichen raten. Der Versuchsleiter notierte die Zahl der Versuche bis zum Erfolg, bzw. ein x, falls auch der 5. Versuch erfolglos blieb. In diesem Falle wurde der Vp das richtige Zeichen genannt. Dieser Abkürzung lag die Erfahrung zugrunde, daß spätestens nach dem 5. erfolglosen Rateversuch fast jede Vp in alphabetischer Reihenfolge weiterrät, also nicht der von Shannon vorausgesetzten Strategie folgt. Man kann also annehmen, daß alle Ratezahlen zwischen 6 und 29 (bzw., bei Mitberücksichtigung von Punkt und Komma, 31) gleichwahrscheinlich sind, wobei ihre Wahrscheinlichkeitssumme gleich der relativen Häufigkeit von "x" ist. Der Informationsberechnung wurde die Shannonsche Abschätzung nach unten zugrundegelegt (vgl. Weltner, 1964). Bei den letzten Vpn konnte bereits die (noch unveröffentlichte) 2. Weltnersche Vereinfachung verwendet werden, welche eine außerordentliche Beschleunigung darstellt. Dabei rät jede Vpn jedes Zeichen nur einmal und erfährt, ob sie richtig geraten hat bzw. welches das richtige Zeichen ist. Aus dem freundlicherweise zur Verfügung gestellten empirischen Material von Weltner folgt, daß im Bereich nicht allzu redundanter, sinnvoller Texte folgende lineare Beziehung gilt:

$$i_{sub}(\text{Text}) = 3{,}9 \cdot F - 0{,}08 \cdot N$$

wenn N die Textlänge und F die Zahl der falsch geratenen Zeichen ist.

3. Ergebnisse

In Tabelle 1 sind die gemittelten Ergebnisse der Ratetests zusammengestellt. Die Transinformation t(Text, Bild) ist in allen drei Fällen positiv. Unter der Voraussetzung, daß die Bildbeschreibungen jeweils die gesamte semantische Information des zugehörigen Bildes und nur diese enthalten, kann diese Transinformation als semantische Information des jeweiligen Bildes angesehen werden. Die Betrachtungszeiten der Bilder nehmen jedoch bei Textkenntnis nicht entsprechend ab sondern bei Bild 1 und Bild 2 sogar zu. Wir deuten dies mit der Hypothese, daß die Vp, welche den Text nicht kennt, bei der Bildbetrachtung nur soviel syntaktische Information (mit der Geschwindigkeit 1 bit/SZQ) aufzunehmen versucht, wie gerade notwendig ist, um einen Birkhoffschen Übergang und von hier aus ein Erkennen der Bedeutung zu ermöglichen. Die hierzu erforderliche Zeit in SZQ ist nach dem erwähnten theoretischen Ansatz numerisch gleich der in bit gemessenen semantischen plus der apperzipierten syntaktischen Information, welche theoretisch mindestens gleich der ersteren sein muß, da sie

Bild 1. Text(N = 255 Zeichen): ein menschliches skelett in seit enansicht und ein schema des s keletts sind dargestellt. bei der schematischen darstellung sind lediglich die gelenke als mit g roßbuchstaben bezeichnete pun kte und die gliedmaßen als die punkte verbindende geraden an gegeben.

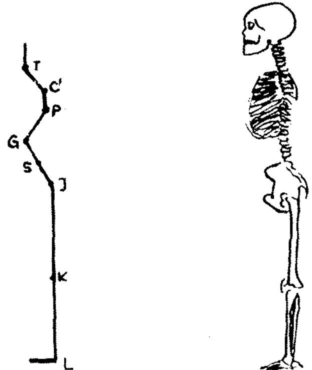


Bild 2

Code:

> 80 SZQ

(40 SZQ...80 SZQ⟩

(20 SZQ...40 SZQ⟩

(10 SZQ...20 SZQ⟩

$\leqq$ 10 SZQ

Bild 3

Code:

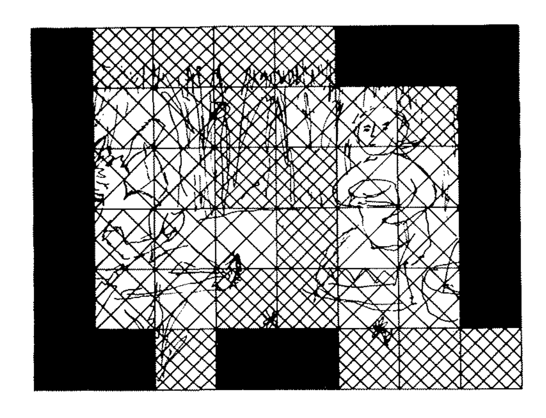
$\Delta t \geqq$ 10 SZQ

-10SZQ<Δt<+10SZQ

$\Delta t \leqq$ -10 SZQ

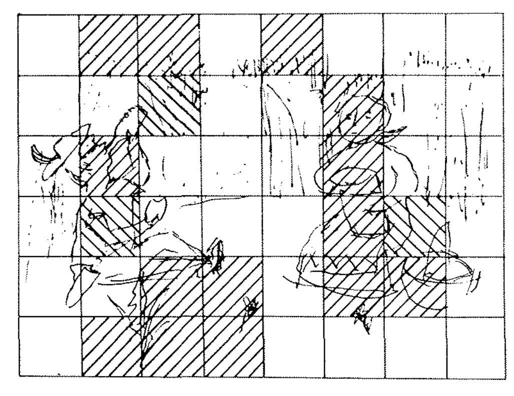


Bild 4. (von Jürgen Schröder)
Text (N = 270 Zeichen):
am rande eines kornfeldes sitze
n bauer und bäuerin beim frühs
tück. die bäuerin ist damit bes
chäftigt, von einem übergroßen
brotlaib eine scheibe abzuschne
iden. der bauer faßt mit der rec
·hten hand seine brotscheibe, m
it der linken hält er sich eine tr
inkflasche an den mund.



Code
wie Bild 2

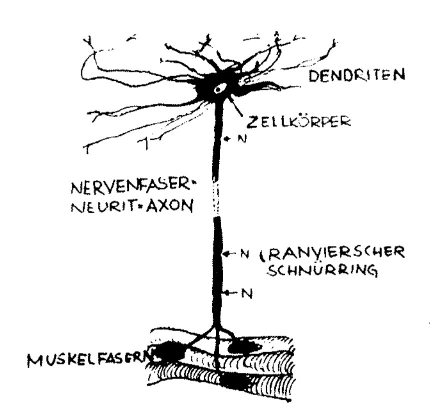
Bild 5



Code
wie Bild 3

Bild 6

Bild 7. Text (N= 443 Zeichen): dargestellt ist das modell einer nervenzelle. vom zellkörper fü hren viele, sehr verzweigte, sic h allmählich verjüngende fortsä tze, die dendriten, und ein l ängerer fortsatz, das axon, ab. das axon besitzt in regelmäßige n abständen sogenannte ranviers che schnürringe, an denen der a xonmantel unterbrochen ist. das axon der dargestellten nervenze lle endigt nach aufzweigung in mehrere äste an den motorisch en endplatten der muskelfasern



Code
wie Bild 2

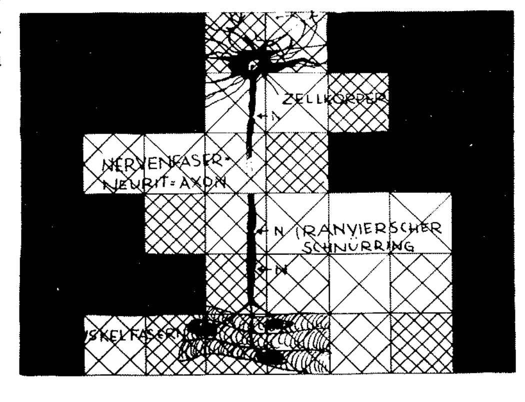


Bild 8

Code
wie Bild 3

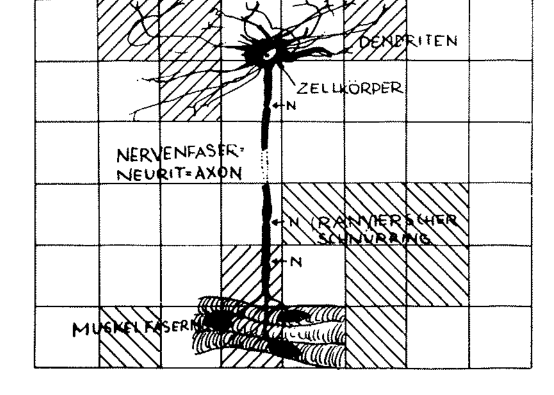


Bild 9

Tabelle 1

Bild und Text Nr.	Mittelwert und Streuung von i_{sub} (Text) ohne Bildkenntnis	mit Bildkenntnis	H_{sub} in bit/Zeichen ohne Bildkenntnis	mit Bildkenntnis	t (Bild, Text) = i_{sem} (Bild)
1	235,3 ± 35,8 bit	195,7 ± 48,4bit	0,962 ± 0,139	0,765 ± 0,190	39,6 ± 60 bit (!)
4	190,1 ± 23,7 bit	126,1 ± 17,7bit	0,704 ± 0,087	0,467 ± 0,065	64 ± 29,6 bit
7	613,1 ± 51,1 bit	392,4 ± 106,1bit	1,385 ± 0,116	0,885 ± 0,240	220,7 ± 117,5 bit

Tabelle 2

Bild und Text Nr.	Mittlere Betrachtungszeit in SZQ ohne Textkenntnis	mit Textkenntnis	Apperzipierte Information in bit ohne Textkenntnis syntaktisch	ästhetisch	mit Textk. ästhetisch
1	515,5	589,7	475,9	436,3	510,5-589,7
4	838,2	1051,6	774,2	710,2	923,6-1051,6
7	889,2	791,0	668,5	447,8	349,6-791,0

diese um die nie negative, apperzipierte ästhetische Information übertrifft. - Ist jedoch die Bedeutung des Bildes im vorhinein bekannt, dann stellt die Bildbetrachtung einen Molesschen Übergang dar, apperzipiert wird in erster Linie ästhetische Information, jedoch ist nicht auszuschließen, daß außerdem ein Übergang der Aufmerksamkeit zur semantischen Information erfolgt. Hier kann also die apperzipierte ästhetische Information nur nach oben und unten abgeschätzt werden; letztere Abschätzung kann zugleich als untere Schranke der im Bild vorhandenen ästhetischen Information angesehen werden. Die Bilder 2, 5 und 8 zeigen die Verteilung der Betrachtungszeit (ohne Textkenntnis) auf die einzelnen Felder, und die Bilder 3, 6 und 9 die Zu- oder Abnahme (codiert durch steigende bzw. fallende Schraffur) dieser Betrachtungszeit um mindestens 10 SZQ pro Feld bei Textkenntnis.

(Bei der Versuchsdurchführung wirkten u. a. Harald Riedel, Jürgen Schröder und Ilona Breuer mit.

Die Untersuchung erfolgte im Zusammenhang mit einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft unterstützen Vorhaben.)

Schrifttumsverzeichnis

Frank, H. Kybernetische Analysen subjektiver Sachverhalte
Verlag Schnelle, Quickborn, 1964, 82 S.

Frank, H. Ansätze zum algorithmischen Lehralgorithmieren
In: H. Frank (Hsg.): Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht, Bd. 4, Klett und Oldenbourg, Stuttgart und München, 1966

Nees, G. Statistische Grafik
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Bd. 5, H. 3/4, 1964, Verlag Schnelle, Quickborn

Shannon, C.E. Prediction and Entropy of printed English
The Bell System Technical Journal, 1951

Weltner, K. Zur empirischen Bestimmung subjektiver Informationswerte von Lehrbuchtexten mit dem Ratetest nach Shannon. Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Bd. 5, H. 1, 1964, S. 3-11

Weltner, K. Zum Ratetest nach Shannon,
GrKG, Bd. 6, H. 3, 1965, Verlag Schnelle, Quickborn

Weltner, K. Über die empirische Bestimmung subjektiver Informationswerte. GrKG, Bd. 7, H. 1, 1966, S. 1-12

Eingegangen am 28. Januar 1967

5. Symposion über Lehrmaschinen und Programmierte Instruktion, 15. - 19. März 1967, Berlin (West). Veranstalter: Gesellschaft für Programmierte Instruktion e.V., Sekretariat c/o Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100. Offizielle Kongreßsprache: Deutsch.

3rd International Congress for Logic, Methodology and Philosophy of Science, 25. August bis 2. September 1967, Amsterdam. Sekretariat: c/o Holland Organizing Centre, 16 Lange Voorhout, Den Haag, Niederlande.

5e Congrès de Cybernétique, 11.-15. September, 1967, Namur (Belgien). Veranstalter: Association Internationale de Cybernétique. Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. Ing. Georges R. Boulanger, Watermael-Brüssel (Belgien), 18 Drève des Wégelias. Sekretariat: Palais des Expositions, Place André Rijckmans, Namur, Belgien. Vortrangsanmeldungen (Themenangabe) bis 31.12.1966. Offizielle Kongreßsprachen: Französisch, Englisch und Deutsch.

6. Symposion über Lehrmaschinen und Programmierte Instruktion, 25. - 29.3. 1968, München. Veranstalter: Gesellschaft für Programmierte Instruktion e.V. Sekretariat c/o Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100. Offizielle Kongreßsprache: Deutsch. Vortragsanmeldungen (Themenangabe) sind bis 31.3.1967 möglich.

4. Kybernetik-Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik, 8.-10.4. 1968, München. Wissenschaftliche Leitung: Prof. Dr. W. Kroebel, Physikalisches Institut der Universität Kiel, Neue Universität, Haus 34, Kiel. Offizielle Kongreßsprache: Deutsch.

16th International Congress of Applied Psychology, 18.-22. August 1968, Amsterdam. Sekretariat c/o Holland Organizing Centre, 16 Lange Voorhout, Den Haag, Niederlande. Offizielle Kongreßsprachen: Englisch, Französisch und Deutsch (Simultanübersetzung der Plenarveranstaltungen ins Russische).

EIN VERFAHREN ZUR AUTOMATISCHEN ERSTELLUNG VON ÜBERSETZERN FÜR PROGRAMMIERSPRACHEN

von Fridolin Hofmann, Erlangen

1. Einleitung

Ausgehend von einer strengen Definition der von Glennie (1960) eingeführten Syntaxmaschine, im weiteren kurz mit SYM bezeichnet, wird anhand eines ALGOL-Programms gezeigt, wie sich eine solche SYM an einer elektronischen Rechenanlage verwirklichen läßt. Es wird dann eine Notation zur Darstellung einer SYM dargelegt, aus der mit Hilfe eines speziellen Übersetzers ein Programm erzeugt wird, das eine Realisierung der beschriebenen SYM darstellt. Der wesentliche Punkt ist dabei, daß ein solcher Übersetzer mit äußerst geringem Aufwand erstellt werden kann.

Im zweiten Teil wird auf den Zusammenhang zwischen den SYM und kontextfreien Grammatiken eingegangen.

Abschließend folgt eine Zusammenstellung der bisherigen Anwendungen.

Die Untersuchung der SYM zielt auf die Gewinnung eines Verfahrens ab, das zur schnellen Erstellung von Übersetzern für Sprachen mit ALGOL-Charakter dient. In Betracht kommen auch Sprachen im Zusammenhang mit der Lehrprogrammierung (DIDOL, Frank, H., 1965).

2. Die Glennie´sche Syntaxmaschine (SYM)

2.1 Definition der SYM

Glennie (1960) beschreibt in seiner Arbeit einen von ihm als Syntaxmaschine bezeichneten Algorithmus zur Syntaxanalyse gewisser kontextfreier Grammatiken. Um genauere Aussagen darüber machen zu können, für welche kontextfreien Grammatiken dieser Algorithmus anwendbar ist, werde zunächst eine formale Definition der SYM gegeben.

Definition 2.1.1: (Kleene S. C.)

A sei eine endliche, nichtleere Menge. Dann bezeichne A^* die Menge $A^* = \bigcup_{n=0}^{\infty} A^n$. Mit anderen Worten, A^* besteht aus allen endlichen Worten von Zeichen aus A, einschließlich dem leeren Wort, das stets mit ε bezeichnet wird.

Definition 2.1.2: Eine Glennie´sche Syntaxmaschine ist ein 10-Tupel

SYM = (S, K, O, E, f, g, h, G, e, k), wobei gilt:

(a) $S = \{ s_1, s_2, \ldots, s_{m_1} \}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Eingabesymbolen).

(b) $K = \{k_1, k_2, \ldots, k_{m_2}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Zuständen).

(c) $O = \{o_1, o_2, \ldots, o_{m_3}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge (von Ausgabesymbolen).

(d) $E = \{e_1, e_2, \ldots, e_{m_4}\}$ ist eine endliche, nichtleere Menge von (Entscheidungs-)Funktionen auf $S^* \times K$ mit Werten in $\{0, 1\} \times S^* \times K \times 0^*$ und es ist $E \cap S = \emptyset$.

(e) f ist eine Funktion auf $E \times K$ mit Werten in 0^*.

(f) g ist eine Funktion auf $E \times K \times K$ mit Werten in 0^*.

(g) h ist eine Funktion auf $E \times K \times K$ mit Werten in K.

(h) G ist ein Gleichungssystem, dessen Gleichungen die Formen

(i)	$x \equiv y$	mit $x \in E,\ y \in E \cup S$,	
(ii)	$x \equiv y\ z$	mit $x, y, z \in E$	oder
(iii)	$x \equiv y \mid z$	mit $x, y, z \in E$	haben können,

und das folgende Eigenschaften besitzt:

(1) Die Relation $r_0 \subset (E \cup S) \times (E \cup S)$ sei definiert durch:

$$\begin{aligned} r_0 = & \{ (x, y) : x \equiv y \in G \} \\ & \cup \{ (x, y) : \text{es existiert } z \text{ mit } x \equiv y\ z \in G \} \\ & \cup \{ (x, y) : \text{es existiert } z \text{ mit } x \equiv y \mid z \in G \text{ oder } x \equiv z \mid y \in G \}. \end{aligned}$$

Weiter sei r die transitive Hülle von r_0 und für alle $e_i \in E$ sei $a(e_i) = \{ e_j : e_j \in E \cup S \text{ und } (e_i, e_j) \in r \}$.

Unter Verwendung dieser Bezeichnungen wird gefordert, daß für alle $e_i \in E$ gilt: $e_i \notin a(e_i)$.

(2) Jedes $e_i \in E$ kommt in genau einer Gleichung von G links von $\equiv$ vor.

(i) e ist Element von E (e heißt Startfunktion).

(j) k ist Element von K.

(k) Die Gleichungen von G bringen folgende Eigenschaften der Funktionen aus E zum Ausdruck:
Falls $x \equiv y$ in G ist und $y \in S$, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k), f(x, k)\, g(x, k, k)) & \text{falls } \varphi = y\varphi' \\ (0, \varphi, \quad k \quad, \quad \varepsilon \quad) & \text{sonst}. \end{cases}$$

Falls $x \equiv y$ in G ist und $y \in E$, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k'), f(x, k)\, w'\, g(x, k, k')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') \text{ ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad, \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Falls $x \equiv y \;\; z$ in G ist, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi'', h(x, k, k''), f(x, k)\, w' w''\, g(x, k, k'')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') & \text{und} \\ \qquad\qquad z(\varphi', k') = (1, \varphi'', k'', w'') & \text{ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad, \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Falls $x \equiv y \mid z$ in G ist, so besitzt x die Eigenschaft:

$$x(\varphi, k) = \begin{cases} (1, \varphi', h(x, k, k'), f(x, k)\, w'\, g(x, k, k')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (1, \varphi', k', w') & \text{ist,} \\ (1, \varphi'', h(x, k, k''), f(x, k)\, w''\, g(x, k, k'')) \\ \qquad \text{falls } y(\varphi, k) = (0, \varphi, k, \varepsilon) & \text{und} \\ \qquad\qquad z(\varphi, k) = (1, \varphi'', k'', w'') & \text{ist,} \\ (0, \varphi, \quad k \quad, \quad \varepsilon \quad) \\ \qquad \text{sonst.} \end{cases}$$

Die von Glennie verwendeten Gleichungsschemata lassen sich auf die in der Definition der SYM verwendeten zurückführen, so daß es keine echte Einschränkung bedeutet, wenn man nur die obigen Gleichungsschemata zuläßt. Die Glennie'schen liefern zwar kürzere und meist übersichtlichere Gleichungssysteme, wovon in den Anwendungen Gebrauch gemacht werden wird, es erleichtert aber Beweisführungen, wenn man sich in der Definition auf möglichst einfache Formen beschränkt.

Man zeigt verhältnismäßig leicht, etwa durch vollständige Induktion über die Länge der Worte von S^*, daß die Funktionen von E durch f, g, h und G eindeutig definiert sind für alle Elemente von $S^* \times K$.

Aus der Definition der SYM folgert man leicht, daß für alle $e \in E$ das Bestehen der Gleichungen $e(\varphi, k_i) = (t', \varphi', k', w')$ und $e(\varphi, k_j) = (t'', \varphi'', k'', w'')$ die Gleichungen $t' = t''$ und $\varphi' = \varphi''$ nach sich zieht. Es ist daher folgende Definition möglich:

D e f i n i t i o n 2.1.3: Es sei $e_i \in E$. Dann bezeichnet $R(e_i)$ die Menge $R(e_i) = \{\varphi : e_i(\varphi, k) = (1, \varepsilon, k', w')\}$.

B e i s p i e l 2 . 1 : Gegeben sei die Syntaxmaschine SYM = (S, K, O, E, f, g, h, G, e, k) mit:

(a) $S = \{a, b, c\}$

(b) $K = \{k\}$

(c) $O = \{a, b, c, \backslash_S, /_S, \backslash_A, /_A, \backslash_B, /_B\}$

(d) $E = \{e_1, e_2, \ldots, e_{15}\}$

(e) f sei gegeben durch die Wertetafel

e_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}
$f(e_i, k)$	$\backslash_S$	ε	ε	ε	ε	$\backslash_A$	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	$\backslash_B$

(f) g sei gegeben durch die Wertetafel

e_i	e_1	e_2	e_3	e_4	e_5	e_6	e_7	e_8	e_9	e_{10}	e_{11}	e_{12}	e_{13}	e_{14}	e_{15}
$g(e_i, k)$	$/_S$	ε	ε	ε	ε	$/_A$	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	ε	$/_B$

(g) Die Funktion h ist die konstante Funktion $h(x, y, z) = k$

(h) Das Gleichungssystem G besteht aus den Gleichungen:

$$\begin{array}{lllllll}
e_1 & \equiv & e_5 \mid e_{15} & \qquad & e_9 & \equiv & e_2\, e_{11} \\
e_2 & \equiv & a & & e_{10} & \equiv & e_6\, e_{11} \\
e_3 & \equiv & b & & e_{11} & \equiv & e_3\, e_3 \\
e_4 & \equiv & c & & e_{12} & \equiv & e_2\, e_{14} \\
e_5 & \equiv & e_6\, e_4 & & e_{13} & \equiv & e_2\, e_3 \\
e_6 & \equiv & e_8 \mid e_9 & & e_{14} & \equiv & e_7\, e_3 \\
e_7 & \equiv & e_{12} \mid e_{13} & & e_{15} & \equiv & e_7 \\
e_8 & \equiv & e_2\, e_{10} & & & &
\end{array}$$

(i) $e \equiv e_1$

Man überzeugt sich leicht, daß die an das Gleichungssystem G zu stellenden Forderungen erfüllt sind.

Für die so definierte Syntaxmaschine ist zum Beispiel:

$e(abba, k) = (1, ba, k, \backslash_S \backslash_B ab /_B /_S)$

$e(aabb, k) = (1, \varepsilon, k, \backslash_S \backslash_B a \backslash_B ab /_B b /_B /_S)$

e(baba, k) = (0, baba, k, ε)

e(abbc, k) = (1, ε , k, $\backslash_S \backslash_A abb/_A c/_S$) .

2.2 Realisierung einer gegebenen SYM

Die nachfolgende Darstellung einer SYM in Form einer ALGOL-Prozedur soll einerseits der Verdeutlichung der Definition dienen und andererseits eine Möglichkeit zur Realisierung einer SYM mit Hilfe einer Rechenanlage aufzeigen. Dabei wird ohne Beschränkung der Allgemeinheit angenommen, daß für die darzustellende SYM $e = e_1$ und $k = k_1$ ist.

```
procedure  SYM (IN, IC, ICEND, OUT, OC, T, STATE);
  integer  IC, ICEND, OC, T, STATE;
  integer  array IN, OUT;
  comment Diese Prozedur setzt voraus, daß die i-te Komponente des ab 1 in-
          dizierten Feldes IN das i-te Eingabesymbol des Wortes φ enthält,
          für das e( φ , k)zu berechnen ist, wobei INP [ICEND] das letzte
          Symbol von φ enthält. Das ab 1 indizierte Feld OUT ist zur Auf-
          nahme der Ausgabesymbole bestimmt. Ist e( φ , k) = (t, φ', k_i,
          w), so enthält nach Beendigung der Prozedur das Feld IN von IC bis
          ICEND das Wort φ', das Feld OUT von 1 bis OC das Wort w, STATE
          den Wert i und T den Wert t;

begin
   procedure F (I, KA);
     integer I, KA;
     begin comment  Hier ist ein Programmstück einzufügen, das f(e_I, KA) be-
                    rechnet und in das Feld OUT, beginnend bei OUT [ OC],
                    einträgt und OC um die Anzahl der ausgegebenen Symbo-
                    le erhöht;
     end;

 procedure G (I, KA, KE);
   integer I, KA, KE;
   begin comment    Hier ist ein Programmstück zur Berechnung von g(e_I, KA,
                    KE) einzufügen, wobei die zu beachtenden Konventionen
                    denen der vorigen Prozedur entsprechen;
   end;

integer procedure H (I, KA, KE);
   integer I, KA, KE;
   begin comment    Hier ist ein Programmstück zur Berechnung von h(e_I, KA,
                    KE) einzusetzen;
   end;
comment Hier sind die dem Gleichungssystem G entsprechenden Prozedurver-
        einbarungen einzusetzen, deren Beschreibung weiter unten folgt;
integer K;
```

```
boolean B;
comment Hier beginnt der eigentliche Anweisungsteil der Prozedur SYM;
IC := OC := K := 1;
E1;
OC := OC - 1;
if B then begin T := 1; STATE := K end
    else T := 0
end;
```

Nun ist noch für die einzelnen Gleichungstypen von G zu beschreiben, wie die zugehörigen Prozedurvereinbarungen aussehen. Kleine Buchstaben in oder als Variablennamen sind im konkreten Fall durch die entsprechende Zahl zu ersetzen.

Fall 1: $e_i \equiv s_j$

```
        procedure Ei;
          begin if IC equal ICEND or INP IC+1 notequal Sj
                   then B := false
                   else begin B := true; IC := IC + 1;
                              F(i, K); G(i, K, K);
                              K := H(i, K, K)
                        end
          end;
```

Fall 2: $e_i \equiv e_j$

```
        procedure Ei;
          begin integer OCA, KA;
             KA := K; OCA := OC;
             F( i, K);
             Ej;
             if B then begin G( i, KA, K); K := H(i, KA, K) end
                 else begin OC := OCA; K := KA end
          end;
```

Fall 3: $e_i \equiv e_j e_k$

```
        procedure Ei;
          begin integer OCA, ICA, KA;
             OCA := OC; ICA := IC; KA := K;
             F(i, K);
             Ej;
             if not B then goto NEIN;
             Ek;
             if B then begin G (i, KA, K); K := H (i, KA, K) end
                 else NEIN:
                      begin OC := OCA; IC := ICA; K := KA end
          end;
```

Fall 4: $e_i \equiv e_j | e_k$

```
procedure Ei;
  begin integer OCA, ICA, KA;
    OCA := OC; ICA := IC; KA := K;
    F(i, K);
    Ej;
    if B then goto JA;
    Ek;
    if B then JA:
              begin G(i, KA, K); K := H(i, KA, K) end
         else begin OC := OCA; K := KA end
  end;
```

2.3 Notation zur Beschreibung einer SYM

Die vorangehenden Überlegungen legen die Vermutung nahe, daß es bei einer geeigneten Notation leicht sein sollte, einen Übersetzer zu schreiben, der die Syntaxmaschine aus ihrer Beschreibung automatisch erstellt.

Aus den bisherigen praktischen Versuchen entstand eine Notation, deren Struktur sich mit Hilfe einer kontextfreien Grammatik beschreiben läßt. Leider können hier nur die wesentlichsten Bestandteile dieser Grammatik dargestellt und erläutert werden. Für eine vollständige Darstellung sei verwiesen auf die ´Beschreibung des Programms MECO zur Erzeugung einer Glennieschen Syntaxmaschine´ (Hofmann, 1966).

```
<SYM>          ::= <SYM-Anfang> END
<SYM-Anfang>   ::= BEGIN :<Funktionsname>; <Entscheidungsfunktion>|
                   <SYM-Anfang> <Entscheidungsfunktion>
```

Erläuterung: Die Darstellung einer SYM wird eingefaßt durch die Worte BEGIN und END. Der nach dem BEGIN folgende Funktionsname ist der Name der Startfunktion. Namen bestehen jeweils aus einem Buchstaben gefolgt von weiteren Buchstaben oder Ziffern.

```
<Entscheidungsfunktion> ::= <Funktionsname> := <Lokal-Vereinbarung>
                            <Disjunktion>;
<Lokal-Vereinbarung>    ::= LOCAL (<Namenliste>), | <leer>
<Namenliste>            ::= <Name>| <Namenliste> , <Name>
```

Erläuterung: Der Funktionsname ist der Name der in der darzustellenden Gleichung aus G links von ≡ steht, die Disjunktion entspricht der rechten Seite. Die in der Lokal-Vereinbarung aufgeführten Namen stellen im Gegensatz zu allen anderen Namen Größen dar, die lokal für diese Funktion sind in einem analogen Sinn, wie der Begriff der lokalen Größe, in den Prozedurvereinbarungen von ALGOL verwendet wird.

< Disjunktion > ::= < Konjunktion> | < Disjunktion> / < Konjunktion >

< Konjunktion > ::= < Aktion > , < Element > | < Element > | < Konjunktion >
< Element >

Erläuterung: Konjunktion und Disjunktion sind Verallgemeinerungen der Typen (ii) und (iii) von Definition 2.1.2.

< Element > ::= < einfaches Element > | < einfaches Element > ,
< Aktion > | < Element > , < Wiederholung >

< einfaches Element > ::= < Funktionsname > | < Eingabesymbol >

< Wiederholung > ::= {<Disjunktion >}

< Aktion > ::= <Aktionsanfang >]

< Aktionsanfang > ::= [<Aktionselement > | < Aktionsanfang >,
< Aktionselement >

Erläuterung: Die Bedeutung der Wiederholung ergibt sich daraus, daß F := X,{Y}; gleichwertig ist mit den beiden Entscheidungsfunktionen F := X, Z/X; und Z := Y, Z/Y;. Hierbei ist Z von allen in den Entscheidungsfunktionen der darzustellenden Syntaxmaschine bereits vorkommenden Namen verschieden zu wählen. Die Bedeutung der übrigen Begriffe ersieht man unmittelbar aus den Beispielen.

Von den zur Zeit benutzten Aktionselementen seien hier lediglich die beiden erwähnt, die für nahezu alle Anwendungen nötig sind.

< Ausgabe-Element > ::= CODE (< fester Teil > , < variabler Teil >)

< Anweisungs-Element > ::= < Name > = < arithmetischer Ausdruck >

< Aktionselement > ::= < Ausgabe-Element > | < Anweisungs-Element >

Erläuterung: Unter arithmetischen Ausdrücken sind hier Ausdrücke zu verstehen, die in üblicher Weise aus den arithmetischen Operatoren, runden Klammern, Variablennamen, Funktionsaufrufen und Konstanten aufgebaut sind.

Der feste Teil des Ausgabe-Elements charakterisiert eine der Standardprozeduren, die Bestandteil des Übersetzers für diese Notation sind, der variable Teil enthält die Parameter für die ausgewählte Prozedur, die aufgrund dieser Parameter bestimmt, welche Ausgabesymbole abgegeben werden sollen.

Beispiel 2.3.1: Die Bedeutung der einzelnen Sprachelemente wird besonders deutlich, wenn man sich ansieht, wie sich die Gleichungstypen der Definition 2.1.2 in der eben eingeführten Notation darstellen. Der Einfachheit wegen sei hier vorausgesetzt, daß die Funktionen f, g, h dem Übersetzer bereits bekannt sind. Kleine Buchstaben sind dabei im konkreten Fall durch die entsprechenden Zahlen zu ersetzen.

Typ (i) $e_i \equiv s_j$ (für $e_i \equiv e_j$ ist lediglich S_j durch E_j zu ersetzen)

Ei := LOCAL(KA),

```
          [CODE(F, i, K), KA = K],
          Sj,
          [CODE(G, i, KA, K), K = H(i, KA, K)] ;
```

Typ (ii) $e_i \equiv e_j \; e_k$

```
    Ei := LOCAL(KA),
          [CODE(F, i, K), KA = K],
          Ej,
          Ek,
          [CODE(G, i, KA, K), K = H(i, KA, K)] ;
```

Typ (iii) $e_i \equiv e_j \mid e_k$

```
    Ei := LOCAL(KA),
          [CODE(F, i, K), KA = K],
          Ej,
          [CODE(G, i, KA, K), K = H(i, KA, K)] /
          [K = KA, CODE(F, i, K)],
          Ek,
          [CODE(G, k, KA, K), K = H(k, KA, K)];
```

B e i s p i e l 2 . 3 . 1 : In diesem Beispiel wird eine Syntaxmaschine beschrieben, deren Entscheidungsfunktion E identisch ist mit der Entscheidungsfunktion e_1 von Beispiel 2. 1.

Die Standardfunktion OUT gibt als Ausgabesymbole die im variablen Teil folgenden, durch Kommata getrennten Zeichen ab.

```
BEGIN : E;

  E   := [CODE(OUT, \S)   ], EB,          [CODE(OUT, /S)       ] /
         [CODE(OUT, \S)   ], EA,  C,      [CODE(OUT, /S)       ] ;
  EA  := [CODE(OUT, \A, A)],  A, EA, B,B, [CODE(OUT, B, B, /A) ] /
         [CODE(OUT, \A, A)],  A,  B,  B,  [CODE(OUT, B, B, /A) ] ;
  EB  := [CODE(OUT, \B, A)],  A, EB,  B,  [CODE(OUT, B, /B)    ] /
         [CODE(OUT, \B, A)],  A,  B,      [CODE(OUT, B, /B)    ] ;

END
```

3. Syntaxmaschine und kontextfreie Grammatik

3.1 SYM und zugehörige Grammatik

Einem Gleichungssystem G einer SYM werde ein Produktionensystem G' zugeordnet durch die Definition:

$$G' = \{ e_i \to \psi \ : \ \psi \in (E \cup S)^* \text{ und } e_i \equiv \psi \in G \}$$
$$\cup \{ e_i \to e_j : \text{es existiert } e_k \text{ mit } e_i \equiv e_j | e_k \in G \text{ oder } e_i \equiv e_k | e_j \in G \}.$$

Die hier und im weiteren verwendeten Bezeichnungen und Begriffe aus der Theorie der kontextfreien Grammatiken entsprechen denen von Knuth D. E. (1965).

Definition 3.1.1: Bei vorgegebener Syntaxmaschine bezeichne $D(e_i)$ die Menge $D(e_i) = \{ \varphi : \varphi \in S^* \text{ und } e_i \underset{G'}{\Rightarrow} \varphi \}$

Zur Definition von Programmiersprachen haben sich die kontextfreien Grammatiken als gut brauchbar erwiesen. Da jedoch die kontextfreie Grammatik im Grunde nur angibt, wie man die Elemente von D(e) erzeugt, entsteht für die Entwicklung von Übersetzern die umgekehrte Aufgabe, nämlich ein Verfahren zu finden, das es gestattet, von einem vorgegebenen Wort aus S^* zu entscheiden, ob es zu D(e) gehört und wenn ja, wie es aufgrund der kontextfreien Grammatik abgeleitet werden kann.

Wie man aus Abschnitt 2 sofort entnimmt, handelt es sich bei der Syntaxmaschine um ein Mittel, das es gestattet, von einem Wort aus S^* zu entscheiden, ob es auch Element von R(e) ist. Da bei Schema (iii) in Definition 2.1.2 die Reihenfolge der Entscheidungsfunktionen auf der rechten Seite wichtig ist im Gegensatz zur Interpretation in der zugehörigen kontextfreien Grammatik, ist unmittelbar ersichtlich, daß zwar $R(e) \subseteq D(e)$ ist, aber nicht immer $R(e) = D(e)$. Von besonderem Interesse ist es daher, Kriterien dafür zu haben, wann $R(e) = D(e)$ ist.

Die Beschränkung der Gleichungsschemata und damit auch der überhaupt in Frage kommenden Produktionensysteme ist für die Anwendungen belanglos, da man nach Ginsburg (1965) zu jeder kontextfreien Grammatik in konstruktiver Weise eine Grammatik finden kann mit den Eigenschaften:

1. Die Produktionen haben nur die Formen $e_i \to e_j$ oder $e_i \to e_j e_k$ oder $e_i \to e_j | e_k$ oder $e_i \to s_j$.
2. Jedes Element von E kommt genau einmal auf der linken Seite vor.

Es steht somit lediglich die Bedingung $e_i \notin a(e_i)$ aus, deren Erfülltsein man mit dem von Kurki-Suonio (1966) beschriebenen Verfahren erreichen kann. Hierbei macht man in der Notation von 2.3 vorteilhaft von dem Wiederholungselement Gebrauch. Außerdem ist es bei dieser Transformation möglich, f, g und h so zu wählen, daß, falls $e(\varphi, k) = (1, \varepsilon, k', w)$ ist, w Darstellung eines Ableitungsbaumes von φ in polnischer Postfixform ist. Durch andere Wahl läßt es sich erreichen, daß w eine syntaktische Klammerung von φ darstellt, wie etwa in Beispiel 2.3.2, dessen ursprüngliche Grammatik dem Abschnitt V der Arbeit von Knuth (1965) entstammt. Ein Resultat in der gewünschten Richtung liefert der

Satz 3.1.1: Für $X \subseteq S^*$ bezeichne H(X) die Menge
$H(X) = \{ \varphi : \text{es existiert } \varphi' \text{ mit } \varphi\varphi' \in X \}$.

Besitzt G die Eigenschaften:

(1) Für alle $x \equiv y|z \in G$ ist $D(y) \cap H(D(Z)) = \emptyset$.

(2) Für alle $x \equiv y\ z \in G$ folgt aus $\varphi_1 \in D(y)$ und $\varphi_2\ \varphi_3 \in D(z)$ und $\varphi_1\ \varphi_2 \in D(y)$, daß $\varphi_3 \in D(z)$ ist.

(3) Für alle $x \equiv y\,z \in G$ folgt aus $\varphi_1 \in D(y)$ und $\varphi_2 \in D(z)$, daß $\varphi_1\ \varphi_2 \notin H(D(y))$ ist.

Da der Beweis keine prinzipiellen Schwierigkeiten enthält, sei er hier nicht wiedergegeben.

Ebenfalls interessant ist die Frage, für welche Sprachen es überhaupt eine Syntaxmaschine gibt mit R(e) = D(e). Abschnitt V in der Arbeit von Knuth (1965) legt die Vermutung nahe, daß es zumindest für alle deterministischen Sprachen eine solche Syntaxmaschine gibt. Der Beweis ist bis jetzt jedoch noch nicht in allen Einzelheiten ausgeführt. Daß es aber auch für nichtdeterministische Sprachen eine solche Syntaxmaschine geben kann, zeigt das Beispiel 2.3.2 für die in Abschnitt V der Arbeit von Knuth (1965) angegebene nichtdeterministische Sprache.

3.2 Anwendungen

Zunächst wurde ein Übersetzer geschaffen, der lediglich die den Schemata (i)-(iii) entsprechenden Darstellungen der Notation von 2.3 beherrschte. Von da aus war es möglich, im Bootstrapping-Verfahren einen Übersetzer zu erstellen, der die in 2.3 beschriebenen Mittel zur Darstellung einer Syntaxmaschine voll zuläßt. Damit ist es möglich, Syntaxmaschinen aus ihrer Beschreibung automatisch generieren zu lassen.

Eine weitere Anwendung ergab sich bei der Anfertigung eines Übersetzers, der aus einem in üblicher Schreibweise vorliegenden Differentialgleichungssystem mit Angabe der Anfangswerte ein Blockschaltbild für einen Analogrechner erstellt.

Bei Arbeiten an einem ALGOL-Übersetzer, der nur sehr wenig Platz im Arbeitsspeicher der Rechenanlage beanspruchen durfte, wurde ein Mehrpaß-Übersetzer konzipiert. Dabei zeigte es sich, daß der Umfang des 7. Passes wesentlich davon abhing, wie die vorangehenden Pässe das zu übersetzende ALGOL-Programm aufbereiten. Die Möglichkeit, Syntaxmaschinen aus ihrer Beschreibung, die sich eng an die der Sprache ALGOL zugrundeliegende Grammatik anlehnen kann, automatisch erstellen zu lassen, gestattete es, die Tätigkeit der vorangehenden Pässe in Form einer Syntaxmaschine zu formulieren. Dabei war es dann auch ohne Schwierigkeiten möglich, Form und Folge der Ausgabesymbole wiederholt zu ändern und so zuerst den kritischen siebten Paß zu erstellen.

Schließlich wurde die Syntaxmaschine noch herangezogen zur Erzeugung eines Syntaxcheckers für ALGOL.

Nach den bisherigen Erfahrungen läßt sich sagen, daß die Syntaxmaschine ein durchaus brauchbares Mittel zur automatischen Erstellung von Übersetzern für Programmiersprachen mit ALGOL-ähnlichem Charakter ist.

Schrifttumsverzeichnis

Carr III, J.W. Weiland, J.	A Nonrecursive Method of Syntax Specification. Comm. ACM, 9, S. 267-269, 1966
Ginsburg, S.	Theory of context free languages. Nato Summer School on Programming Languages. Pisa, 6. - 24. September 1965
Glennie, A.E.	On the syntax machine and the construction of a universal compiler. Computation Ctr., Carnegie Institute of Technology, Juli 1960
Griffiths, T.V. Petrick, S.	On the Relative Efficiencies of Context-Free Grammar Recognizers. Comm. ACM, 8, S. 289 - 300, 1965
Hofmann, F.	Beschreibung des Programms MECO zur Erzeugung einer Glennie´schen Syntaxmaschine. ZEF/RZ-Bericht Nr. 6609, Siemens-Schuckertwerke AG, 1966
Kanner, Kosinski and Robinson	The Structure of Yet Another ALGOL Compiler. Comm. ACM, 8, S. 427 - 438, 1965
Knuth, D.E.	On the Translation of Languages from Left to Right. Information and Control, 8, S. 607 - 639, 1965.
Kurki-Suonio, Reino	On Top-to-Bottom Recognition and Left Recursion. Comm. ACM, 9, S. 527 - 528, 1966
Metcalfe, H.H.	A parametrized compiler based on mechanical linguistics. Annual review in automatic programming (R. Goodman ed.), Pergamon Press, 4, 1964
Naur, P.et al.	Revised Report on the Algorithmic Language ALGOL 60. Comm. ACM, 6, S. 1 - 17, 1963

Eingegangen am 20. März 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Fridolin Hofmann, Zentrale Entwicklung und Forschung/Rechenzentrum
Siemens-Schuckert-Werke, 852 Erlangen, Günther-Scharowsky-Straße

BEMERKUNGEN ZUR THEORIE BEWUSST WAHRNEHMENDER SYSTEME

von Jens Blauert, Aachen

Herrn Prof. Dr.-Ing. V. Aschoff zum 60. Geburtstag gewidmet

1. Was ist bewußte Wahrnehmung?

Wir Menschen wissen aus unmittelbarer eigener Erfahrung, daß wir bewußt wahrnehmen können. Ich nehme bewußt wahr, heißt: in meiner Welt ist etwas mir Bewußtes, etwas von mir bewußt Wahrgenommenes vorhanden. Das Wahrgenommene kann ein Gegenstand, es kann aber auch ungegenständlich, z.B. ein Gefühl oder ein Begriff sein.
Wir wollen uns bei der Verwendung des Wortes "Wahrnehmung" auf die Bedeutung "bewußte Wahrnehmung" beschränken. Tun wir dies, so können wir sagen, daß im Augenblick des Wahrnehmens, das heißt in dem Augenblick, da die Wahrnehmung stattfindet, ein wahrnehmendes Wesen einem Wahrgenommenen gegenübersteht; und zwar derart, daß das Wahrgenommene das Bewußte des Wahrnehmenden ist.

Für weiter unten folgende Überlegungen muß festgestellt werden, daß das Wahrgenommene zeitlich, räumlich und eigenschaftlich bestimmt ist.

Benutzt man für das Wahrnehmende die übliche Bezeichnung Subjekt, für das Wahrgenommene die Bezeichnung Objekt, so kommt man zu der Aussage, daß Wahrnehmung und Subjekt-Objekt-Beziehung Synonyme sind.

Max Bense (1961) spricht von der Wahrnehmung als "einer zweistelligen Seinsfunktion, die sich auf zwei Gegebenheiten beziehen muß, um abgesättigt zu sein, nämlich Subjekt und Objekt." Hans Lungwitz (1933) nennt die Wahrnehmung "polar" und spricht von gegensätzlicher Zugleichheit von Subjekt und Objekt als von den Polen der Wahrnehmung.

Durch Introspektion weiß der Mensch, daß er selber wahrnimmt. Im Analogieschluß erkennt er auch anderen Wesen die Fähigkeit zur Wahrnehmung zu, nämlich dann, wenn diese anderen Wesen ihm ähnlich aufgebaut sind und ihm ähnlich reagieren. Dieser Analogieschluß ist zwar eine Hypothese, die niemals derart beweisbar ist, daß das Wahrgenommene eines anderen Menschen auch mein Wahrgenommenes sein könnte. Wir können niemals das Bewußte eines anderen haben, sondern nur durch dessen Ausdrucksaktionen wie z.B. dessen sprachliche Beschreibung davon erfahren. Die Hypothese, daß andere überhaupt Wahrgenommenes haben, ist jedoch solange zumindestens nicht widerlegbar, wie wir keine Tatsachen erleben, die ihr widersprechen.

Die oben gemachten Aussagen über die Wahrnehmung waren erkenntnistheoretischer Art. Naturwissenschaft und Technik interessieren sich jedoch neben der Frage, was Wahrnehmung dem Wesen nach sei, vor allem auch dafür, wann, wo und wie welche Wahrnehmungen zustandekommen.

Die Fähigkeit, wahrnehmen zu können, wird im allgemeinen höherorganisierten Lebewesen zuerkannt, wobei sich die Hirnrinde als Organ des Bewußtseins erwiesen hat. K. Steinbuch (1961; 1962) gibt dazu einen allerdings schon früher bekannten Zusammenhang (z. B. Lungwitz, 1923) mit folgenden Worten an: "Jede Bewußtseinssituation entspricht einer physikalisch beschreibbaren Situation des Organismus."

Unter Benutzung dieser Aussage kann eine naturwissenschaftliche Antwort auf die Frage nach den Umständen der Wahrnehmung in folgender Weise gegeben werden: Ein räumlich, zeitlich und eigenschaftlich bestimmter physiologischer Zustand eines zur Wahrnehmung fähigen Wesens koinzidiert mit dem Auftreten eines räumlich, zeitlich und eigenschaftlich ebenfalls spezifischen Wahrgenommenen in dessen Welt.

2. Das bewußt wahrnehmende System

Als wichtigstes Beispiel für ein bewußt wahrnehmendes System gilt der Organismus Mensch. Das Auftreten von bewußter Wahrnehmung hat sich als gebunden an physiologische Prozesse herausgestellt, die in der Hirnrinde stattfinden.

Eine Vielzahl von Funktionsschemata für den Ablauf der mit der Wahrnehmung verknüpften physiologischen Prozesse sind aus der Literatur bekannt. Sie lassen sich in zwei Gruppen unterteilen:

Die erste Gruppe, die im wesentlichen von der Kybernetik geliefert wird, ist dadurch gekennzeichnet, daß für die einzelnen Elemente des wahrnehmenden Systems Funktionssymbole angegeben werden. Diese Symbole geben die Funktion eines oder mehrerer Elemente des Systems an (z. B. die eines Verknüpfers oder eines Speichers), ohne daß dazugesagt wird, mit welchen Mitteln dieses Element in praxi realisiert ist, also ob es sich z. B. um ein Neuron oder um einen Transistor handelt. Als Beispiel für diese Art von Funktionsschemata können die von K. Steinbuch (1961) und H. Frank (1961) angegebenen Modelle zur Informationsverarbeitung durch den Menschen angeführt werden.

Die zweite Gruppe von Funktionsschemata ist aus der Physiologie her bekannt.

Es wird weniger der Fluß der Information in Begriffen der Informationstheorie beschrieben, sondern es werden Signalverläufe (resp. Reizverläufe) zwischen biologischen Organteilen schematisch aufgezeigt. Ein Beispiel eines solchen Schemas zeigt Bild 1. Eine Stimmgabel versetzt die sie umgebende Luft in Schwingungen. Die Schwingungen breiten sich als Schallwellen aus und führen zu einer Erregung des Ohres. Vom Ohr gelangen Signale in den Hörbezirk der Hirnrinde. In dem Moment nun, da die Erregung eines bestimmten Elementes der Großhirnrinde ihren Höhepunkt erreicht, taucht ein spezielles Wahrgenommenes aus dem möglichen Wahrnehmungsvorrat des Großhirns auf, d.h. zum Beispiel: der Mensch hört einen Ton.

Den Umständen innerhalb und außerhalb des Organismus entsprechend kann die Erregung im Anschluß an die Wahrnehmung einen unterschiedlichen Verlauf nehmen. Denkbar sind beispielsweise folgende Fälle:

1. Der Mensch erschrickt und wird schreckensbleich. Die Erregung hat sich in einer Angstverkrampfung seiner Blutgefäße ausgedrückt.
2. Der Mensch bewegt sich auf die Schallquelle zu, z.B. um die Stimmgabel genauer betrachten zu können. Die Erregung hat sich also über seine Bewegungsmuskulatur ausgedrückt.
3. Der Mensch beschreibt in Worten, daß er einen Ton hört. Die Erregung ist über den Sprechbezirk der Hirnrinde verlaufen und hat sich über das Sprechorgan ausgedrückt.

In dem Bild ist außerdem angedeutet, daß das Großhirn in jedem Moment Signale erhält, die es über den augenblicklichen koordinativen Zustand des gesamten Organismus informieren.

Ein Versuchsleiter, der sich für das Wahrgenommene einer Versuchsperson interessiert, wird in den meisten Fällen die Versuchsperson bitten, das Wahrgenommene mit Worten zu beschreiben. Wir wollen diesen Fall deshalb als Beispiel für unsere weiteren Überlegungen zugrundelegen. Bild 2 ist ein vereinfachter Auszug aus Bild 1. Der Reiz trifft ein Aufnahmeorgan, die Erregung verläuft über das bewußt wahrnehmende Organ an das Ausdrucksorgan. In dem Moment, da das wahrnehmende Organ sich in einem spezifischen Erregungszustand befindet, ist in der Welt dieses Organs ein spezifisches Wahrgenommenes vorhanden.

Bild 3 überträgt Bild 2 in die Darstellungsweise des Nachrichtentechnikers, in der das wahrzunehmende System als schwarzer Kasten mit Eingangs- und Ausgangsklemmen im Sinne der Systemtheorie erscheint. Unter bestimmten Voraussetzungen kann man zunächst annehmen, daß an den rechten Ausgangsklemmen des Kastens eine Ausgangsgröße (nämlich die Beschreibung b_o) erscheint, und daß diese Beschreibung bei gegebenem Zustand des Systems ausschließlich von der an den Eingangsklemmen anliegenden Eingangsgröße (d.h. dem Reiz r_o) abhängt.



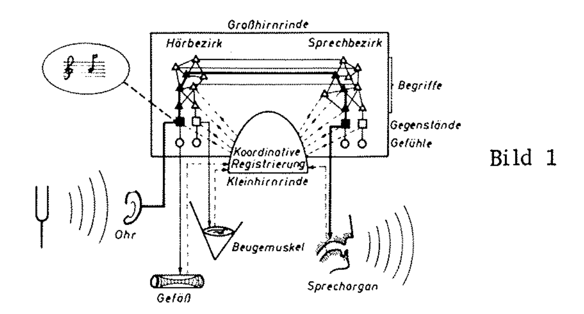


Bild 1

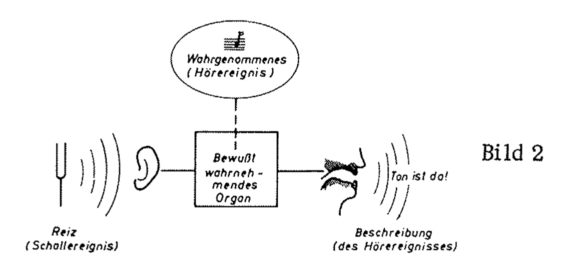


Bild 2

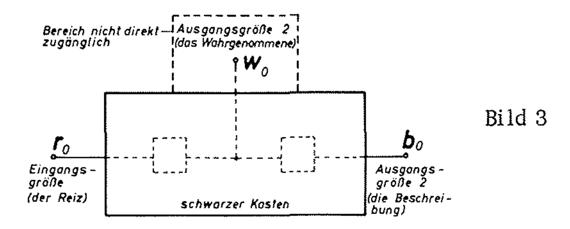


Bild 3

Um die Ergebnisse der Introspektion berücksichtigen zu können, ist ein zweiter Ausgang vorgesehen, an dem das Wahrgenommene w_o des Systems erscheint. Dieser Ausgang ist bei der Fremdbeobachtung des Systems nicht direkt, sondern nur über die Beschreibung zugänglich. Die gestrichelt angedeutete Kettenschaltung zweier Systemelemente im Inneren des schwarzen Kastens soll andeuten, daß die Ausgangsgrößen w_o und b_o nicht identisch sind.

Wir interessieren uns letztlich für die Frage: Welches Wahrgenommene und welche Beschreibung erscheinen an den Ausgängen, wenn ein definierter Reiz an

den Eingang des Systems gelegt wird? Für eine möglichst allgemeine Entwicklung des Problems eignet sich die Terminologie der Mengenlehre.

Wir können im Zusammenhang mit dem von uns behandelten bewußt wahrnehmenden System folgende Mengen unterscheiden:

1. Die Menge R_0 der Reize mit den Elementen r_0
2. Die Menge W_0 des Wahrgenommenen mit den Elementen w_0
3. Die Menge B_0 der Beschreibungen mit den Elementen b_0

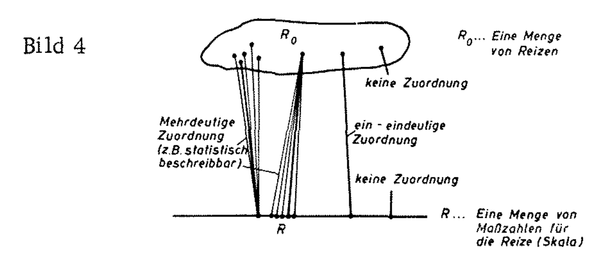
Im Falle einer akustischen Wahrnehmung werden die Reize R_0 auch die Schallereignisse, das Wahrgenommene W_0 die Hörereignisse und die Beschreibungen B_0 die Beschreibungen der Hörereignisse genannt.

Unsere Betrachtung der Beziehungen zwischen den einzelnen angeführten Mengen wird sich auf die folgenden Überlegungen zum Thema "Messen" stützen.

3. Messen und Skalieren

Die Mathematik gestattet es, Mengen, deren Elemente, sowie die Beziehungen zwischen verschiedenen Mengen und Elementen mit höchstmöglicher Präzision zu beschreiben. Den betrachteten Mengen, bzw. den Elementen dieser Mengen müssen dazu mathematische Symbole in der Weise zugeordnet werden, daß diese Symbole neben ihrer mathematischen Bedeutung zusätzlich als Symbole derjenigen Merkmale unserer Mengen und Elemente dienen können, die wir beschreiben wollen. Diese Zuordnung ist möglich, wenn die Merkmale der mathematischen Symbole denen der Mengen und Elemente entsprechen. Falls eine quantitative Beschreibung angestrebt wird, sind als mathematische Symbole Zahlen zu verwenden. Nach Campbell (zitiert nach Guilford, 1954) kann man definieren: Messung ist die Zuordnung von Zahlen zu Objekten nach festgelegten Regeln. (Bild 4)

Bild 4



Als Beispiel betrachten wir eine Menge von Reizen am Eingang eines wahrnehmenden Systems. Diese Menge sei Grundmenge R_0 genannt. Um die Grundmenge quantitativ beschreiben zu können, soll sie ausgemessen werden. Hierzu wird jedem Reiz eine Zahl aus einer Zahlenmenge R zugeordnet, die bezüglich des Merkmals "Quantität" die gleichen Eigenschaften hat wie der Reiz selber. R nennen wir eine S k a l a . Die Zuordnungsvorschrift zu den Elementen der Grundmenge nennen wir S k a l i e r f u n k t i o n.
In der Praxis geschieht die Zuordnung von Zahlen zu den Elementen der Grundmenge durch das sogenannte Meßverfahren. Die Art des Meßverfahrens und die begrenzte Meßgenauigkeit führen dazu, daß nicht immer eine eindeutige Zuordnung erreicht werden kann. Das Meßergebnis kann eine statistische Größe sein, die z.B. aus mehreren Einzelmessungen gemittelt oder in ähnlicher Weise gewonnen wurde. Manche Elemente der Grundmenge können vielleicht gar nicht vermessen werden oder umgekehrt paßt zu manchen Zahlen evtl. keines der Grundmengenelemente.

Bei der Bestimmung einer Zahlenmenge, die als Skala für die zu messende Grundmenge geeignet ist, sind drei Eigenschaften der Zahlen relevant:
Identität (jede Zahl ist nur mit sich selbst identisch), Rangordnung (die Zahlen erfüllen eine Anordnungsrelation) und Additivität (es ist eine Additionsvorschrift definiert).

Wir hatten oben festgestellt, daß eine Zahlenmenge dann als Skala für eine Grundmenge geeignet ist, wenn die Eigenschaften der betrachteten Merkmale der Grundmengenelemente mit denen der Zahlen übereinstimmen. Die Merkmale der Grundmengenelemente haben nun nicht immer alle drei genannten Eigenschaften der Zahlen. Die Zahlen können jedoch schon dann als Maß verwendet werden, wenn bei den Merkmalen der Grundmengenelemente allein das Gesetz der Identität erfüllt ist. Die Maßzahl hat in diesem Fall verminderte Aussagekraft. Je nach dem, welche Zahleneigenschaften man ausnutzt, können vier Grundarten von Skalen unterschieden werden (Guilford, 1954; Siegel, 1956):

Eine Skala, die nur auf der Identitätseigenschaft der Zahlen fußt, nennt man N o m i n a l s k a l a (Bild 5). Das Bild zeigt eine Versuchsperson, die wahlweise von vorne oder hinten beschallt wird und ihre Eindrücke durch drei Beschreibungen mitteilen kann. Das Beispiel macht deutlich, warum man in diesem Falle von einer Nominalskala spricht. Die Zahl wird nur benutzt, um gewissermaßen als Namensschild auf eine Gruppe von Grundmengenelementen aufgeklebt zu werden. Weitere Bedeutung kommt ihr nicht zu.

Die nächste höherstehende Form einer Skala ist die sogenannte O r d i n a l s k a l a

(Bild 6). Die betrachteten Merkmale müssen hier schon die Eigenschaften Identität und Rangordnung besitzen. In dem gezeigten Beispiel werden vier elektrische Signale auf ihre Eignung zu einem psychophysiologischen Experiment untersucht und in der Rangfolge ihrer Eignung eingestuft. Die Ordinalskala besteht aus Ordnungszahlen, die in Punktzahlen umgerechnet werden können. Es wird nicht ausgesagt, daß die Ränge äquidistant sind, das heißt, daß etwa der Exponentialton gerade doppelt weniger geeignet wäre als der Trapezton (beide mit dem Gausston verglichen.) Der Exponentialton steht lediglich an dritter Stelle.

Die Intervallskala (Bild 7) verlangt als Merkmalseigenschaften Identität,

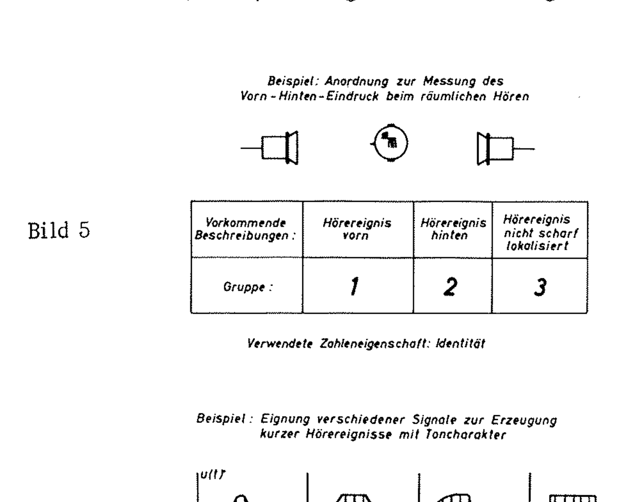


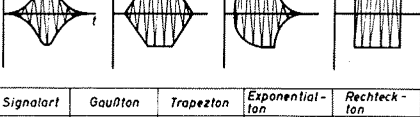
Bild 5

Vorkommende Beschreibungen:	Hörereignis vorn	Hörereignis hinten	Hörereignis nicht scharf lokalisiert
Gruppe:	1	2	3

Verwendete Zahleneigenschaft: Identität

Beispiel: Eignung verschiedener Signale zur Erzeugung kurzer Hörereignisse mit Toncharakter

Bild 6



Signalart	Gaußton	Trapezton	Exponentialton	Rechteckton
Rang	1.	2.	3.	4.
Rangzahl	4	3	2	1

Verwendete Zahleneigenschaften: Identität, Rangordnung

Beispiel: Temperaturskala von Celsius

Bild 7

°C: 100, 90, 80, 70, 60, 50, 40, 30, 20, 10, 0

Man beachte: Der Temperaturanstieg von 0° auf 20° ist ebenso groß wie der von 20° auf 40°. Es ist jedoch nicht 40° eine doppelt so hohe Temperatur wie 20°.

Verwendete Zahleneigenschaften: Identität, Rangordnung, Additivität nur bezüglich der Intervalle

Rangordnung und bezüglich der Intervalle zwischen den Merkmalen Additivität. Was nicht verlangt wird, ist, daß das Merkmal des Elementes, das der Zahl Null zugeordnet wird, verschwindet. Mit anderen Worten: es wird kein absoluter Nullpunkt festgelegt.

Bei der vierten und höchstentwickelten Skalenart, der Verhältnisskala, treffen alle oben hervorgehobenen Eigenschaften der Zahlen auch auf die Merkmale der Grundmengenelemente zu. Z.B. wird die Lautheit mit der Zahl Null bezeichnet, wenn sie verschwindet. Diejenige Lautheit, die die Maßzahl Zwei erhält, ist doppelt so laut wie die, die die Maßzahl Eins erhält und so weiter.

Als Skalen können nicht nur Punktmengen auf Zahlengeraden sondern auch solche auf Zahlenflächen und in Zahlenräumen mit mehreren Dimensionen verwendet werden, wenn die betrachtete Grundmenge dies verlangt. Die mehrdimensionale Skalierung des Wahrgenommenen erlangt in der Psychologie steigende Bedeutung.

4. Psychophysiologische Größenpaare und Funktionen

Bei der Betrachtung des bewußt wahrnehmenden Systems in unserem Beispiel waren drei Grundmengen isoliert worden. Es interessieren uns im folgenden die Beziehungen dieser Mengen untereinander, bzw. die Frage: Was nimmt ein System wahr und wie beschreibt es sein Wahrgenommenes, wenn es mit einem definierten Reiz erregt wird?

Links in Bild 8 sind die Grundmengen R_0, W_0 und B_0, rechts die zugehörigen Skalen, also die Reizskala R, die Wahrnehmungsskala W und die Beschreibungsskala B eingetragen. Die Zuordnungsvorschrift zwischen einer Grundmenge und der zugehörigen Skala ist eine Mengenfunktion und wird als Skalierfunktion bezeichnet.

Die Grundmengen stehen nicht nur mit den Skalen, sondern auch untereinander in Beziehungen. Diese Beziehungen finden ihre Entsprechungen in Mengenfunk-

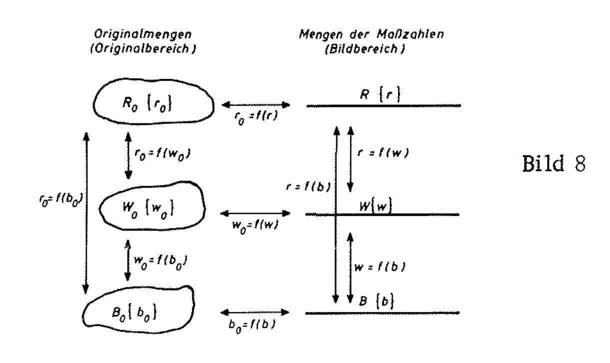


Bild 8

tionen zwischen den Skalen. Die Funktionen zwischen den Skalen werden psychophysiologische Funktionen genannt. Eine psychophysiologische Funktion kann z. B. zwischen den Frequenzen eines Schallwechseldruckes in Hz, die auf der Reizskala R aufgetragen werden, und den Tonhöhen in mel, die auf der Wahrnehmungsskala W stehen, definiert werden. Wir sprechen dann von Tonhöhe und Frequenz als einem psychophysiologischen Größenpaar.

Die Aufstellung einer psychophysiologischen Funktion ist vom Standpunkt des Naturwissenschaftlers aus nur dann sinnvoll, wenn sich zwischen der mathematischen Beschreibung und der beobachteten Wirklichkeit eine genügende und nicht nur im speziellen Fall bestehende Übereinstimmung nachweisen läßt.

Beziehen wir uns auf den Menschen als Wahrnehmungssystem, so wird auch gesagt, die psychophysiologische Funktion solle möglichst objektiv sein. Unter Objektivität wird dann das Ausmaß der Übereinstimmung zwischen dem Wahrgenommenen bzw. den Beschreibungen mehrerer Personen bezeichnet. Leider stellen wir bei Messungen an bewußt wahrnehmenden Systemen grundsätzlich fest, daß bei definiertem Reiz und definierten Umweltsbedingungen das Wahrgenommene und dessen Beschreibung sowohl streut, wenn man ein System mehrmals ausmißt, als auch dann, wenn man mehrere Systeme jeweils einmal mißt. Die Ergebnisse solcher Messungen werden im ersten Falle durch eine Individualmatrix, im zweiten durch eine Gruppenmatrix dargestellt. Mißt man mehrere Versuchspersonen bei mehreren Gelegenheiten aus, so ergibt sich eine Tabelle, die als dreidimensionales Gebilde darzustellen ist.

Bei biologischen Systemen, und das sind alle bisher bekannten bewußt wahrnehmenden Systeme, kann man in der Regel voraussetzen und mit statistischen Hilfsmitteln bestätigen, daß die Häufigkeitsdichte der Meßergebnisse über der zugehörigen Skala eine Normalverteilung (Gaussfunktion) ist.
Psychophysiologische Funktionen sind demnach in der Regel nicht für einzelne Meßwerte sondern für statistisch gewonnene Maßzahlen definiert (Bild 9). Dies ist zu beachten, wenn man für einen Einzelfall ein Wahrgenommenes mit Hilfe einer psychophysiologischen Funktion vorausberechnen möchte. (Leider findet man in der Literatur zu den dort angegebenen psychophysiologischen Funktionen nicht immer die notwendigen statistischen Angaben z. B. über die Vertrauensgrenzen!)

Die Bilder 10 und 11 stellen Beispiele für praktische psychophysiologische Funktionen dar. Historisch wichtig und heute noch von grundsätzlicher Bedeutung ist das Gesetz von Fechner, wonach das Wahrgenommene (Helligkeit, Tonhöhe, Druckempfindung etc.) eine logarithmische Funktion des Reizes (Licht-

stärke, Frequenz, Auflagekraft) ist (Bild 10). Faßt man C nicht als Konstante sondern als Funktion C(r) auf, dann werden Anwendungen auf Größenpaare möglich, auf die das Gesetz in seiner ursprünglichen Form nicht zutrifft.

Eine andere Art psychophysiologischer Funktionen läßt sich als Potenzfunktion schreiben (Bild 11). Ein Beispiel hierfür ist das psychophysiologische Größenpaar

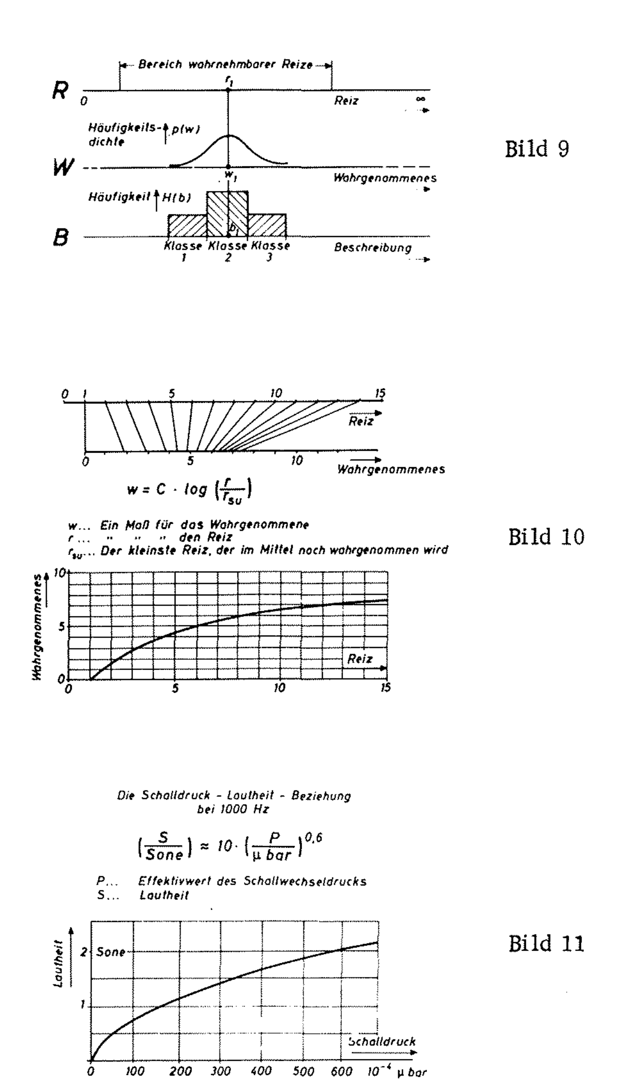


Bild 9

Bild 10

Bild 11

Schalldruck-Lautheit, das im Bereich oberhalb von etwa einem Tausendstel Mikrobar durch die angegebene Funktion beschrieben werden kann. Der Exponent des Ausdrucks, in dem der Schalldruck steht, ist kleiner als Eins. Im Bereich größerer Schalldrücke verläuft die Kurve ähnlich wie eine logarithmische Funktion.

Neben speziellen psychophysiologischen Funktionen vieler Art gibt es Versuche, verallgemeinerte Beziehungen zwischen Reizen und Wahrgenommenem schlechthin anzugeben. Ein Beispiel für eine Gleichung dieser Art ist die Verhaltensgleichung von Graham. Sie lautet in der Schreibweise der Systemtheorie:

$$w(t) = f\left[r_a(t), r_b(t), \ldots, r_n(t); z_a(t), z_b(t), \ldots, z_n(t)\right]$$

Betrachtete Ausgangsgröße:

$w(t)$ ... ein meßbares Merkmal des Wahrgenommenen z. B. Lautheit

Anliegende Eingangsgröße:

$r_a(t), r_b(t), \ldots, r_n(t)$ ... meßbare Merkmale des Reizes z. B. Frequenz, Schalldruck, Diffusität

Kenngrößen des Systems:

$z_a(t), z_b(t), \ldots, z_n(t)$ ... meßbare Merkmale von Zustandsgrößen z. B. Erfahrung, Motive, Ermüdung

Das betrachtete Merkmal des Wahrgenommenen wird als Funktion mehrerer Merkmale des Reizes und als Funktion von Zustandsgrößen des bewußt wahrnehmenden Systems angegeben. Die Zustandsgrößen können vielgestaltig sein, z. B. der Lernzustand nach mehrfacher vorhergehender Beaufschlagung mit den Testreizen, Motive, Vorurteile, Ermüdungszustände usw. fallen ebenfalls in diese Kategorie.

Diese verallgemeinerte Betrachtungsweise geht in zweierlei Beziehung über unsere bisher gemachten Einschränkungen hinaus. Einerseits wird das System nicht mehr als mit nur einem Eingang ausgestattet gedacht, zum anderen ist dieses

System auch nicht mehr invariant. Es ändert sich in der Zeit und unter dem Einfluß der Reize. Unsere grundsätzlichen Überlegungen müssen erweitert werden. Die mathematische Systemtheorie der Nachrichtentechnik liefert Mittel (z. B. state space approach), die benutzt werden können, um die Beschreibung eines verallgemeinerten, bewußt wahrnehmenden Systems durchzuführen.

Schrifttumsverzeichnis

Bense, Max — Bewußtseinstheorie
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 2, 1961, S. 65

Clauss, J.H. — Zur Problematik der Farbtestgrundlagen II
Psychophysiologie (Beihefte zur Rehabilitation)
Band 2, 1965/66, S. 95

Frank, Helmar — Zum Problem des vorbewußten Gedächtnisses
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 2, 1961, S. 16

Guilford, J.P. — Psychometric Methods 2. Aufl.
McGraw Hill New York 1954

Lungwitz, Hans — Lehrbuch der Psychobiologie Band 1
Walter de Gruyter, Berlin 1933

Lungwitz, Hans — Die Entdeckung der Seele
Allgemeine Psychobiologie, 1. Aufl., 1923
Brücke Verlag Kurt Schmersow, Kirchhain N.-L.

Siegel, Sidney — Nonparametric Statistics: For the behavioral sciences. McGraw Hill, New York, 1956

Steinbuch, Karl — Automat und Mensch
1. Aufl., Springer, Berlin, 1961

Steinbuch, Karl — Bewußtsein und Kybernetik
Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft, Band 3, 1962, S. 1

Eingegangen am 27. Februar 1967

Anschrift des Autors:
Dipl.-Ing. Jens Blauert, Institut für elektrische Nachrichtentechnik der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

REAFFERENZPRINZIP UND BEWUSSTSEIN

von Hans-Werner Klement, Bad Homburg

Eine wesentliche Komponente des Bewußtseins ist die Unterscheidung zwischen "Ich" und Außenwelt. In dem vorliegenden Aufsatz wird untersucht, wie es zu dieser Unterscheidung kommt, und ob es möglich ist, einen Automaten zu bauen, der zwischen sich selbst und der Außenwelt unterscheiden kann. Steinbuch (1965) schreibt hierzu:

> "... Würden wir jedoch einen genügend großen Automaten bauen und ihn so organisieren, daß er beständig seine Peripherie durch Millionen von Rezeptoren überwacht und verteidigt, dann könnte dieser Automat zwischen sich und der Außenwelt unterscheiden. Man könnte im Verhalten eines Automaten, der eine von außen bewirkte Veränderung seiner Peripherie zu verhindern oder zu kompensieren sucht, ein Unterscheidungsvermögen zwischen "Ich" und "Außenwelt" sehen."

Im folgenden soll gezeigt werden, daß aus der Physiologie der Wahrnehmungen bekannte Prinzipien bei entsprechender Deutung Hinweise auf das Entstehen der Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" geben, und daß das Unterscheidungsvermögen eines Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt hierauf aufbauend prinzipiell mittels eines Rezeptors und eines mit ihm kooperierenden Effektors verwirklicht werden kann.

Der menschliche Wahrnehmungsapparat kann ein ruhendes Objekt auch dann als ruhend erkennen, wenn das Auge sich bewegt und daher auf der Netzhaut ein bewegtes Bild des Objektes entsteht. Andererseits erkennt er ein Objekt auch dann als bewegt, wenn das Auge dem Objekt folgt und dessen Bild auf der Netzhaut ruht. Mit der Deutung dieser Phänomene befaßte sich bereits H. von Helmholtz (1866). Er war der Auffassung, daß die von der Netzhaut im Zentralnervensystem eintreffenden Bewegungsmeldungen gemeinsam mit Impulsen von den Gehirnzentren, welche die Augenbewegung veranlassen, verarbeitet werden. Diese Theorie ist als Efferenztheorie bekannt. In jüngerer Zeit haben sich E. von Holst (1950, 1957) und H. Mittelstaedt (1950) mit dem sogenannten Reafferenzprinzip bei verschiedenen neuromotorischen Systemen auseinandergesetzt. Sie erklären die beschriebenen Phänomene ähnlich damit, daß in den Wahrnehmungsapparat sowohl die Signale von der Netzhaut als auch "Efferenzkopien" der Impulse, welche die Bewegung des Auges steuern, eingehen.

Dabei wird angenommen, daß die durch Bewegung des Auges hervorgerufene Afferenz (Reafferenz) durch die Efferenzkopie kompensiert wird, so daß nur die durch Bewegung der Umwelt hervorgerufene Afferenz (Exafferenz) als Bewegungsmeldung höhere Zentren erreicht. Es geht hierbei primär um die Frage, wie es dem Wahrnehmungsapparat gelingt, ein "richtiges" bzw. "objektives" Bild der Umwelt zu gewinnen. Von Holst und Mittelstaedt erwähnen aber auch, daß es sich bei diesem Prozeß um eine Unterscheidung des Lebewesens zwischen "eigener Bewegung" und "Bewegung der Umwelt" handle. Daran ist zunächst richtig, daß ein Lebewesen aufgrund des beschriebenen Prozesses Bewegungen der Umwelt als solche erkennen und darauf reagieren kann, während eigene Bewegungen keine Bewegungsmeldungen bewirken und somit auch keine Reaktion auslösen. Eine wirkliche Unterscheidung zwischen eigener Bewegung und Bewegung der Umwelt liegt insoweit nicht vor, denn eigene Bewegungen werden ja überhaupt nicht gemeldet. Dennoch ist es richtig, von einer solchen Unterscheidung zu sprechen, denn der beschriebene Prozeß betrifft eben nur den Wahrnehmungsapparat für das Sehen von Bewegungen der Umwelt, und es darf nicht ausgeschlossen werden, daß daneben - zumindest bei höher organisierten Lebewesen - die eigene Bewegung z. B. durch eine weitere Efferenzkopie an das Wahrnehmungszentrum gemeldet wird.

Efferenztheorie und Reafferenzprinzip beinhalten das gleiche Grundprinzip der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize. Nach dem oben Gesagten ist wahrscheinlich, daß dieses Prinzip über seine Bedeutung für das "objektive" Erkennen der Umwelt hinaus zur Erklärung der Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" herangezogen werden muß. Das Prinzip der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize und die hierdurch mögliche Unterscheidung zwischen "Ich" und "Außenwelt" wären dann als Wurzeln des Bewußtseins in den Nervensystemen von Lebewesen zu betrachten. Von Holst und Mittelstaedt haben geschrieben:

> "... daß jene komplizierten höheren Funktionsgestalten, vor denen der Reflexphysiologe ratlos steht, mit ihren Wurzeln bis in die einfachsten Grundfunktionen des ZNS reichen."

Es ist zu vermuten, daß diese Feststellung auch für die Funktionsgestalten des Bewußtseins Bestätigung finden wird.

Wie ein Automat auf der Grundlage des Prinzips der gemeinsamen Verarbeitung ausgehender Impulse und eingehender Reize die Unterscheidung zwischen sich selbst und der Außenwelt treffen kann, sei zunächst an einem System erläutert, das binäre akustische Impulse x_1 abgeben und gleichartige binäre Reize x_2 aufnehmen kann. Bei entsprechenden Verknüpfungen kennt dieses System die drei folgenden Zustände:

	x_1	x_2
$R = x_1 \downarrow x_2$	0	0
$A = \bar{x}_1 \cdot x_2$	0	1
$S = x_1$	1	0
	1	1

Der Zustand R bedeutet "kein Signal", der Zustand A bedeutet "Reiz aus der Außenwelt" und der Zustand S bedeutet "eigener Impuls". Das System kann also zwischen von ihm selbst ausgehenden Signalen und Signalen aus der Außenwelt unterscheiden.

Der Verfasser hat ein ähnliches System durch geeignete Verknüpfung eines Blinkgebers und einer Lichtschranke verwirklicht. Hierbei schaltet das Relais der Lichtschranke (x_2) einen Summer ein, wenn ein Lichtreiz auf die Fotozelle wirkt. Dabei ist es zunächst gleichgültig, ob der Lichtreiz vom Blinkgeber oder von einer fremden Lichtquelle stammt. Im Stromkreis des Summers befindet sich jedoch ein weiteres Relais (x_1), das vom Blinkgeber gesteuert wird. Wenn die Fotozelle durch den Blinkgeber gereizt wird, erhält dieses Relais die "Efferenzkopie" und unterbricht kurz den Summerstrom. Das System reagiert somit auf fremde Blinksignale mit je einem akustischen Signal, auf eigene Blinksignale jedoch mit je zwei akustischen Signalen. Diese Unterscheidung wird auch dann getroffen, wenn das Licht die Fotozelle über einen Spiegel erreicht; das System "erkennt sich" im Spiegel. - Ein auf den ersten Blick ähnliches System wird in der Literatur unter dem Namen "machina speculatrix" beschrieben. Hierbei wird jedoch keine "Efferenzkopie" des ausgehenden Impulses verwendet, so daß ein prinzipieller Unterschied zu den in diesem Aufsatz beschriebenen Systemen vorliegt (William Grey Walter, 1963).

Die bis jetzt beschriebenen Systeme können nicht erkennen, ob neben einem eigenen Impuls ein Reiz aus der Außenwelt vorhanden ist. Treffen eigener Impuls und Reiz aus der Außenwelt zusammen, registrieren sie lediglich den eigenen Impuls. Ein System, bei dem ausgehende Impulse und eingehende Reize miteinander verglichen werden, würde aber auch in diesem Falle die richtige Feststellung treffen. Bei geeigneten Verknüpfungen würde es folgende Zustände kennen, wobei wieder x_1 den ausgehenden Impuls und x_2 den eingehenden Reiz bedeuten:

R	kein Signal	$x_1 = x_2$ $x_1 = 0$ $x_2 = 0$		
A	Reiz aus der Außenwelt	$x_1 \neq x_2$ $x_1 = 0$ $x_2 \neq 0$		
S	eigenes Signal	$x_1 = x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 \neq 0$	oder	$x_1 \neq x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 = 0$
AS	Reiz aus der Außenwelt und eigenes Signal	$x_1 \neq x_2$ $x_1 \neq 0$ $x_2 \neq 0$		

Die Verwirklichung solcher Systeme hängt ausschließlich davon ab, inwieweit der Vergleich ausgehender Impulse mit eingehenden Reizen - insbesondere im Falle nichtbinärer Signale - technisch durchführbar ist. Die grundsätzliche Brauchbarkeit des Vergleichs zwischen ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen für die Unterscheidung eines Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt wird von dieser Problematik nicht berührt.

Um eine solche Unterscheidung zu erzeugen, können bei jeweils entsprechenden Verknüpfungen z.B. folgende Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen verwendet werden:

1. Die Bewegungsimpulse eines optischen Rezeptors und die von diesem aufgenommenen Bewegungsmeldungen wie beim Bewegungssehen.

2. Die Bewegungsimpulse eigener beweglicher Teile und die von einem optischen Rezeptor aufgenommenen Bewegungsmeldungen zwecks Unterscheidung des Automaten zwischen eigenen Bestandteilen und Objekten der Außenwelt.

3. Ausgehende akustische Impulse und eingehende akustische Reize wie in dem oben beschriebenen Beispiel.

4. Die Bewegungsimpulse taktiler Rezeptoren und aufgenommene taktile Reize.

Als Beispiel hierfür sei ein System genannt, dessen Oberfläche als taktiler Rezeptor ausgebildet ist, und das außerdem über einen weiteren, beweglich angeordneten taktilen Rezeptor verfügt. Bei geeigneten Verknüpfungen wird ein solches System stets "Außenwelt" registrieren, wenn nur einer der beiden Rezeptoren gereizt wird. Werden aber beide Rezeptoren gereizt, müssen die Bewegungsimpulse des beweglichen Rezeptors zur Unterscheidung des Automaten zwischen sich selbst und der Außenwelt mit herangezogen werden. Entsprechen diese Impulse einem Treffen der beiden Rezeptoren, registriert der Automat, daß er sich selbst berührt hat. Entsprechen sie dem Treffen nicht, registriert er "Außenwelt".

Ein Automat kann demnach prinzipiell so gestaltet werden, daß er ein "objektives" Bild von seiner Umwelt gewinnt und zwischen sich selbst und der Außenwelt unterscheidet. Diese Fähigkeiten können auf verschiedene Weisen zur Steuerung des Verhaltens des Automaten benutzt werden:

1. Eine bestimmte Reaktion tritt nur dann ein, wenn ein Reiz aus der Außenwelt vorliegt, nicht aber, wenn der gleiche Reiz durch eigene Impulse hervorgerufen wird. Dieses Verhalten des Systems könnte man z. B. mit einem Schutzreflex bei einem Lebewesen vergleichen, der nur durch Reize aus der Außenwelt ausgelöst wird, nicht aber durch gleiche eigene Signale.

2. Die oben mit R, A, S und AS bezeichneten Zustände gehen neben anderen Daten als Information in komplexere Prozesse der Informationsverarbeitung innerhalb des Systems ein und beeinflussen dessen Verhalten in entsprechend komplizierterer Weise. Das Verhalten eines solchen Systems könnte dem eines Lebewesens entsprechen, das aufgrund einer unveränderlichen Schaltung seines Nervensystems "instinktiv" zwischen "Ich" und "Außenwelt" unterscheidet.

3. Unter Verwendung von Lernmatrizen "lernt" das System die Zuordnung der vorkommenden Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen zu den Zuständen R, A, S und AS. Es lernt dabei insbesondere, daß bei unterschiedlichen Kombinationen von ausgehenden Impulsen und eingehenden Reizen (Ereignissen) die voneinander zu unterscheidenden Zustände R, A, S und AS (Bedeutungen) auftreten. Das System kann die gelernte Zuordnung auch dann zur Informationsverarbeitung heranziehen, wenn keine akuten Impulse und Reize vorliegen.

4. Schließlich kann man ein System so auslegen, daß den Zuständen R, A, S und AS in einer Lernmatrix Bedeutungen in einer begrifflichen Sprache zugeordnet werden. Ein solches System kann z. B. lernen, den Zustand S als "Ich" und den Zustand A als "Außenwelt" zu bezeichnen.

SCHRIFTTUMSVERZEICHNIS

Steinbuch, Karl	Automat und Mensch, 3. Auflage, Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1965, S. 351.
von Helmholtz, H.	Handbuch der Physiologischen Optik, Hamburg/Leipzig 1866, abgehandelt in: R. L. Gregory: Auge und Gehirn, Kindler-Verlag, München, 1966, S. 96 f.
von Holst, E. Mittelstaedt, H.	Das Reafferenzprinzip, Naturwissenschaften Bd. 37, 1950, S. 464.
von Holst, E.	Aktive Leistungen der menschlichen Gesichtswahrnehmung, Studium Generale 10, 1957, H. 4, S. 231.
Walter, William G.	Das lebende Gehirn, Droemersche Verlagsanstalt Th. Knaur Nachf., München/Zürich, 1963, S. 163 u. 226.

Eingegangen am 23. Dezember 1966

Anschrift des Verfassers:

Dr. Hans-Werner Klement
638 Bad Homburg
Theodor-Storm-Str. 27

IDEOGRAFIE - FUNKTION DES SICHTBAREN AUSDRUCKS

von Peter K ü m m e l, Tokio

Man unterscheidet gewöhnlich Schriftzeichen ideografischer Verwendung von lautsymbolisierenden Alphabetzeichen. Es wird auch gesagt, begriffstragende Schriftzeichen haben andere Funktion als jene, die nur Laute anzeigen. Meistens führen begriffstragende Zeichen beide Funktionen aus, sie sind laut- und begriffstragend. Ferner gibt es sogenannte Piktogramme, die in mehr oder weniger verknappter Form ebenfalls begriffstragende (ideografische) Funktion aufweisen. Bisher gelten die chinesischen Schriftzeichen als bedeutsame Beispiele ideografischer Anwendung, obwohl uns weitere ideografisch benutzte Zeichen des Altertums bekannt sind. Die Verwendung der chinesischen Schriftzeichen oder HAN-Zeichen (erste Zusammenstellungen des Zeichenschatzes erfolgten während der HAN-Dynastie, vor etwa 2000 Jahren), ist durch die Einführung des Schulzwangs in Volkschina ständig im Wachsen begriffen.

Sinologen sind in ihren Äußerungen über den ideografischen Funktionswert der HAN-Zeichen zurückhaltend, da offenbar nicht alle Schriftzeichen ideografische Verwendung finden. Diese Frage war bisher kaum zu beantworten, da man sich über die fundamentale Funktion des sichtbaren Ausdrucks keine Klarheit verschaffen konnte. Eine Darlegung der Funktions-Zusammenhänge kann erst nach der Struktur-Interpretation des Ausdrucks erfolgen. Diese hat neuerdings ergeben, daß der ideografische vom fonografischen Bereich nicht immer klar zu trennen ist. Bislang konnte man daher nirgends eine Erklärung der Bedeutung des Ausdrucks "Ideografie" nachlesen.

Für rationale Verständigung zwischen Individuen ist die etwas theoretisch anmutende Frage nach der Bedeutung von Ideografie nicht nur für Asiaten, sondern auch für Europäer aktuell geworden. Ausarbeitungen zur Ausdrucks-Analyse zeigen, daß durch einen Vergleich der Struktur des sichtbaren Ausdrucks der permanenten Ebene "grafisch" mit dem der akuten "gebärdlich", fundamentale Parallelen festgestellt werden konnten. Sie lassen eine Einteilung allen, durch die Sinneswahrnehmung perzipierbaren Ausdrucks in kleinste Einheiten zu, die wiederum Einblick in die Funktion des willkürlichen Ausdrucks gewährt. Bei den Einheiten handelt es sich um BIAUs für den Ausdruck und YIs für die zu tragenden Bedeutungen (Kümmel, 1966).

D e f i n i t i o n e i n e s BIAU:
Ein BIAU ist die kleinste, nicht mehr teilbare, durch Sinne wahrnehmbare Einheit des willkürlichen Ausdrucks. Eine BIAU-Folge, aber auch ein BIAU kann Träger einer Sinnesdaten-Einheit werden.

Definition eines YI:

Ein YI ist die kleinste, nicht mehr teilbare, durch BIAUs ausdrückbare Sinnesdaten-Einheit in Verwendung für den willkürlichen Ausdruck.

Definition der BIAU-Rate:

Die BIAU-Rate pro YI ist das Verhältnis, in dem BIAUs für den Ausdruck von YIs Verwendung finden. Dienen n BIAUs zum Ausdruck eines YIs, ist die BIAU-Rate n/1. Wird ein BIAU an n verschiedenen Stellen zum Ausdruck unterschiedlicher YIs verwandt, beträgt die BIAU-Rate 1/n.

Vorstehende Bauelemente, als Zwischenergebnis einer Struktur-Analyse des willkürlichen Ausdrucks im allgemeinen, lassen durch Vergleiche mit anderen Kanälen der Sinneswahrnehmung genauere Rückschlüsse auf den sichtbaren Ausdruck selbst zu. Es wird nun einfacher, die Frage nach der Beschaffenheit von Ideografie zu klären, deren Beantwortung bisher vernachlässigt wurde. Die meisten ideografisch benutzten Zeichen besitzen im täglichen Gebrauch über ihre begriffstragende Funktion hinaus auch eine lauttragende. Finden sie an einigen Stellen nur dieser lauttragenden Funktion wegen Verwendung, kann man nicht mehr von Ideografie sprechen. Wird ein Zeichen jedoch ungeachtet seiner Aussprache ausschließlich für einen bestimmten Begriff verwendet, wie etwa eine arabische Ziffer, so wird seine Funktion ideografisch. Nicht die Struktur eines Zeichens, sondern seine Funktion kann ideografisch oder fonografisch sein. Die Benutzung der sinnwidrigen Worte IDEO-, LOGO- oder FONOGRAMM zeugt daher nur von Unverständnis der Materie. Das Adjektiv "ideografisch" ist nicht struktur-, sondern nur funktionsbezogen. Dieser ideografische Funktionswert erstreckt sich sowohl auf Schrifteinheiten stark inhaltsbezogener Strukturen:
[illegible] ⟶ 中 = Mitte, [illegible] ⟶ 雨 = Regen, 森 = Wald, ∞ = unendlich, — → 1 = eins, 三 ⟶ [illegible] ⟶ 3 = drei usf., wie auf jene, deren Inhaltsbezug verkümmert, oder gar nicht zu erkennen ist. Sogar substituierende Einheiten von Zeichen mit geringem oder keinem Inhaltsbezug finden ideografische Verwendung. ! = Ausrufungszeichen, % = Prozentzeichen und das BIAU § für den Begriff Paragraf.

Folgende Ausdrucks-Einheiten verdeutlichen, wie ein bestimmter Begriff (1 YI) durch unterschiedliche nationale Gebräuche im Ausdruck a) grafisch sichtbar gemacht wird, b) wie hoch seine BIAU-Rate ist und c), ob dieses "Sichtbarmachen" ideo- oder fonografisch erfolgt. Das YI "Baum" soll als Beispiel dienen:

BIAUS (Ausdrucks-Einheiten)		Nationalität der BIAUS	BIAU-Rate	grafische Funktion
1)	木	chin.-japanisch	1	ideografisch
2)	キ	japanisch	1/n	fonografisch
3)	mu	chin.-latein.	2	fonografisch
4)	ki	japan.-latein.	2	fonografisch
5)	Baum	deutsch	4	fonografisch
6)	tree	englisch	4	fonografisch
7)	arbre	französisch	5	fonografisch

Die BIAU-Rate darf also bei einer ideografischen Funktion nicht über oder unter 1 liegen. In Zeile 2 ist zwar das Postulat nach einer Ausdrucks-Einheit für eine Sinnesdaten-Einheit erfüllt, aber es handelt sich um ein Silbenalphabet-Zeichen, dessen Verwendung nicht exklusiv erfolgt. Das Zeichen des KANA-Alphabets mit der Lesung "ki" kommt im täglichen Gebrauch tausendfach vor.

Bei einer Reihe von HAN-Zeichen finden wir ebenfalls nur fonografische Funktionen vor, wodurch die BIAU-Raten gewöhnlich unter 1 zu liegen kommen. Es handelt sich meist um Zeichen, deren Aussprache jener des neuen Begriffes ähnelt oder gleich ist. Man benutzt dann dieselbe grafische Einheit einmal für den neuen Begriff, an anderer Stelle jedoch für die ursprüngliche Bedeutung, für die das Zeichen früher eigens geschaffen wurde. Als Beispiel können Länderbezeichnungen der Chinesen wie 独国 DU GUO für Deutschland gelten. Das Zeichen 独 DU steht für die Bedeutung "einsam/allein/nur". Es kann adjektivisch aber auch "deutsch" heißen. In Japan benutzt man häufig das HAN-Zeichen 米 für ungeschälten Reis wegen seiner Aussprache ME für den neu eingeführten Begriff des Längenmaßes "Meter". In beiden Fällen DU und ME ist die Verwendung der Zeichen nicht mehr ideografisch und die BIAU-Rate beträgt nur 1/2.

Definition des Begriffes Ideografie

Ideografie ist Schreibung willkürlichen Ausdrucks, bei der jede Schrifteinheit voll, verknappt oder nicht inhaltsbezogen zum ausschließlichen Tragen einer Bedeutung (Sinnesdaten-Einheit) benutzt wird. Kürzer und genauer: Ideografie ist Schreibung (grafischer Ausdruck) bei der (dem) die BIAU-Rate 1 beträgt.

Schnellerer Informationsfluß der BIAU-Rate 1

Der Tatbestand, daß nicht nur bei chinesischen und japanischen, sondern auch

allen übrigen Schreibmaschinen einschließlich der arabischen Ziffern nicht weniger als 50 % der Typen für ideografischen Gebrauch vorgesehen sind, läßt erkennen, daß ideografischer Ausdruck keinesfalls unzeitgemäß oder gar unpraktisch ist. Das Beschränken der BIAU-Rate im Bereich hoher YI-Frequenzen gegen 1 ist in der Praxis durch Abkürzungen überall geläufig: PKW für Personen-Kraftwagen usf. Der größere Lernaufwand für BIAUs der Rate 1 ist bei hohen Frequenzen zu rechtfertigen und der Masse von Individuen durchaus zumutbar, da der Vergeßlichkeitsfaktor der Frequenz umgekehrt proportional ist. Schätzungen, die durch exakte Messungen bestätigt sein wollen, ergeben, daß für YI-Frequenzen zwischen 1/300 und 1/500 die Anwendung einer BIAU-Rate 1 empfehlenswert ist. Durch sie lassen sich für die grafisch sichtbare Sinneswahrnehmung optimale Perzeptionswerte erzielen. Solche Vermutung wird durch folgende Erscheinungen bekräftigt: Es läßt sich eine doppelseitige Annäherung an vorstehend genannte YI-Frequenzen feststellen. Die Benutzung der HAN-Zeichen in fernöstlichen Ländern hat den Bereich der BIAU-Rate 1 bis hinab zu den niedrigsten YI-Frequenzen erweitert. Er ist in China mit Werten unter 1/3000 und Japan unter 1/2000 zu umfangreich, so daß insbesondere in China, wo kein Silbenalphabet gebräuchlich ist, durch jüngste Reformbestrebungen mehr und mehr Zeichen für die Fono - Indikation Verwendung finden und entlehnt werden. Es findet zunehmender Schwund der BIAU-Rate 1 zugunsten einer Rate statt, deren Wert wegen doppelter Benutzung des infrage kommenden Zeichens 1/2, oder bei mehrfacher Benutzung bis zu 1/5 und noch geringere Bruchteile annimmt. In den übrigen Ländern, in denen lauttragende Alphabetzeichen verwendet werden, liegt die BIAU-Rate zumeist zu hoch und nur in seltenen Fällen bei 1. Man ist bestrebt, durch Abkürzung von Worten hoher Frequenzen die Rate gegen 1 schrumpfen zu lassen.

Die lautindizierende Schreibung der chinesischen Bezeichnungen erfolgte nach dem neuen, von der Peking-Regierung anerkannten HAN YU PIN YING FAN AN-System.

Schrifttumsverzeichnis

Kümmel, Peter "Die Sechs-Schreibung" der chinesischen Schriftzeichen als Einführung in den Fragenkomplex des willkürlichen Ausdrucks , GrKG 7/4, 1966

Eingegangen am 8. April 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Peter Kümmel, Lektor an der Staatlichen Fremdsprachen-Hochschule Tokios, Tokio, Minato Ku, Akasaka 7/5/34/, CPO-Box 1178

EIN MODELL FÜR UNABHÄNGIGE KONKURRIERENDE LERNPROZESSE

von Klaus Heipcke, Göttingen

Die hier vorgetragenen Gedanken schließen an einen früheren Aufsatz des Verfassers an (Heipcke, 1966). Dabei werden hier zunächst noch einmal die Begriffe des "Kombinationsraumes $\mathfrak{K}_{\pi}$", der Übergangsfunktion $\Theta(c,k)$ und des Ausschnittes λn_1^{π} aufgegriffen.

1. Kritische Bemerkung zur Übergangsfunktion $\Theta(c,k)$ und zum Ausschnitt λn_1^{π}

a) Nach 3.3 (in Heipcke, 1966) gibt die Übergangsfunktion nur eine Näherung für $1 - e^{-\alpha k^{\pi}}$ bei mittlerem k. Daß jedoch auch die Funktion

$$1 - e^{-\alpha \left[\frac{1+\delta(k)}{a_1+\delta(k)} \right]^{\pi}}$$

eine Näherung darstellt, folgt schon aus dem unterschiedlichen asymptotischen Verhalten von

$$W(k) = 1 - \left[1 - \frac{\left(\frac{1+\delta(k)}{a_1+\delta(k)} \right)^{\pi} \cdot r^{\pi}}{n_1^{\pi}} \right]^{\lambda n_1^{\pi}} \quad \text{und} \quad W^*(k) = 1 - e^{-\alpha \left(\frac{1+\delta(k)}{a_1+\delta(k)} \right)^{\pi}}$$

Es gilt nämlich $\lim\limits_{k \to \infty} W(k) = 1$

aber $\lim\limits_{k \to \infty} W^*(k) = 1 - e^{-\lambda n_1^{\pi}}$

(wobei $a_1 = \frac{T}{n_1}$ beachtet ist, sowie auch $\infty > \lambda n_1^{\pi} > 0$). Je größer λn_1^{π} ist, umso weniger fällt der asymptotische Fehler ins Gewicht und umgekehrt, je kleiner λn_1^{π}, umso stärker fällt er ins Gewicht. Für $\lambda n_1^{\pi} = 8$ gilt jedoch schon die gute Näherung $\lim\limits_{k \to \infty} W^*(k) \simeq 1 - \frac{1}{3650}$ also einen auf 3 Stellen genauen Wert.

b) Das Modell ist ein lineares, sog. "incremental" Modell (im Gegensatz zu "all-or-none" Modellen) (Bower (1964, S. 34 ff) weist auf die Vorteile hin, die "all-or-none" Modelle bezüglich sequentieller Statistiken besitzen). Es besitzt daher auch alle Nachteile von linearen (incremental) Modellen, etwa der Schwierigkeit sequentieller Statistiken (Estes und Suppes (1959, S. 137 ff) gaben dagegen auch für lineare (und incremental) Modelle detaillierte sequentielle Statistiken an).

2. Die mengentheoretische Interpretation des Kombinationsraumes $\mathfrak{K}_\pi$

a) Der Kombinationsraum $\mathfrak{K}_\pi$ war als eine Menge von Verhaltensmustern verstanden, die jeweils ein π-Tupel von 'elementaren'-Verhaltensmustern bilden (siehe 2. in Heipcke, 1966). Diese Menge ist dabei in zulässige (richtige, zu lernende) und nicht zulässige (falsche, nicht zu lernende) π-Tupel gegliedert. Diese Menge von π-Tupeln bildet eine (Borel'sche) Ereignisalgebra (den Begriff des Ereignisfeldes haben zuerst Estes und Suppes (1959, S. 139) auf die Theorie mathematischer Lernmodelle angewandt) mit der Maßfunktion $P = \frac{a}{n_1^\pi}$ wobei a die Mächtigkeit einer beliebigen Teilmenge $\mathfrak{A} \subset \mathfrak{K}_\pi$ und n_1^π die Mächtigkeit von $\mathfrak{K}_\pi$ ist.

b) Für die Mächtigkeit A^* zweier beliebiger Kombinationsräume gilt dann:

$$A^* = A(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cup \mathfrak{K}_{\pi 2}) = A(\mathfrak{K}_{\pi 1}) + A(\mathfrak{K}_{\pi 2}) - A(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cap \mathfrak{K}_{\pi 2})$$

und allgemein für beliebig viele Kombinationsräume

$$A^* = A\left(\bigcup_{\mu=1}^{m} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right) = \sum_{\mu=1}^{m} A(\mathfrak{K}_{\pi\mu}) - \sum_{\substack{\mu_1,\mu_2 : 1 \ldots m \\ \mu_1 < \mu_2}} A(\mathfrak{K}_{\pi\mu_1} \cap \mathfrak{K}_{\pi\mu_2}) + \ldots + (-1)^{m+1} A\left(\bigcap_{\mu=1}^{m} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right)$$

(Zum Beweis siehe Morgenstern, 1964, S. 8.)

Für die Maßfunktion gilt dann im Falle zweier beliebiger Kombinationsräume

$$P^* = \frac{R(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cup \mathfrak{K}_{\pi 2})}{N(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cup \mathfrak{K}_{\pi 2})} = \frac{R_1}{N^*} + \frac{R_2}{N^*} - \frac{R(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cap \mathfrak{K}_{\pi 2})}{N(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cap \mathfrak{K}_{\pi 2})} \cdot \frac{N(\mathfrak{K}_{\pi 1} \cap \mathfrak{K}_{\pi 2})}{N^*}$$

$$= P_1 \cdot \frac{N_1}{N^*} + P_2 \cdot \frac{N_2}{N^*} - P_{12} \cdot \frac{N_{12}}{N^*}$$

wobei $R(\bullet)$ und $N(\bullet)$ die Mächtigkeit der Teilmengen 'richtiger Kombinationen' bzw. die Mächtigkeit eines gesamten Kombinationsraumes bezeichnen. Entsprechend gilt für beliebig viele Kombinationsräume:

$$P^* = \sum_{\mu=1}^{m} \frac{R(\mathfrak{K}_{\pi\mu})}{N^*} - \sum_{\substack{\mu_1,\mu_2 : 1 \ldots m \\ \mu_1 < \mu_2}} \frac{R(\mathfrak{K}_{\pi\mu_1} \cap \mathfrak{K}_{\pi\mu_2})}{N(\mathfrak{K}_{\pi\mu_1} \cap \mathfrak{K}_{\pi\mu_2})} \cdot \frac{N(\mathfrak{K}_{\pi\mu_1} \cap \mathfrak{K}_{\pi\mu_2})}{N^*}$$

$$+ \ldots + (-1)^{m+1} \frac{R\left(\bigcap_{\mu=1}^{m} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right)}{N\left(\bigcap_{\mu=1}^{m} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right)} \cdot \frac{N\left(\bigcap_{\mu=1}^{m} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right)}{N^*}$$

Diese letzte Gleichung läßt sich auch so schreiben:

$$P^* = \sum_{\mu=1}^{m} P_\mu \frac{N_\mu}{N^*} + \text{Rest}\,(P_\mu / \mu : 1, \ldots, m)$$

$$P^* = \sum_{\mu=1}^{m} P_\mu \frac{N_\mu}{N^*} \qquad \text{für Rest}\,(P_\mu / \mu : 1, \ldots, m) = 0$$

denn sind die verschiedenen Kombinationsräume elementenfremd, so ist der letztere Fall Rest $(P_\mu / \mu : 1, \ldots m) = 0$ gegeben, da

$$\frac{R\left(\bigcap_{\mu=1}^{m'} \mathfrak{K}_{\pi\mu}\right)}{N^*} = 0 \qquad \text{mit } 1 < m' \leq m$$

Für die Wahrscheinlichkeit (daß nämlich der ´Ausschnitt´ der Musterkombinationen nur aus falschen Kombinationen besteht) gilt jetzt entsprechend:

$$\bar{W}^*(k) = \left[1 - \frac{1}{N^*}\left(\sum_{\mu=1}^{m} P_{k\mu} N_\mu - \sum_{\substack{\mu_1, \mu_2 : 1 \ldots m \\ \mu_1 < \mu_2}} P_{k\mu_1\mu_2} N_{\mu_1\mu_2} + \ldots\right)\right]^{\lambda N^*}$$

und für paarweise elementenfremde Kombinationsräume (Rest $(P_\mu / \mu : 1, \ldots m) = 0$ gilt dann insbesondere

$$\bar{W}^*(k) = \left(1 - \frac{1}{N^*} \sum_{\mu=1}^{m} P_{k\mu} N_\mu\right)^{\lambda N^*} \qquad \text{und für } \lambda N^* \gg 1$$

gilt entsprechend $\bar{W}^*(k) = e^{-\lambda \sum_{\mu=1}^{m} P_{k\mu} N_\mu}$

$$W(k) = 1 - e^{-\lambda \sum_{\mu=1}^{m} P_{k\mu} N_\mu}$$

Unter denselben Voraussetzungen wie 3.2 (Heipcke, 1966) gilt dann:

$$\bar{W}^*(k) = \exp\left(-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu k^{\pi_\mu}\right)$$

$$H^*(t) = 1 - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu t^{\pi_\mu}}$$

$$F^*(t) = e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu t^{\pi_\mu}} = \prod_{\mu=1}^{m} e^{-\alpha_\mu t^{\pi_\mu}} = \prod_{\mu=1}^{m} F_\mu(t)$$

3. Aus dieser letzten Gleichung folgt, daß für Rest $(P_\mu/\mu: 1,..m)=0$ die Fehlerwahrscheinlichkeiten $F_\mu(t)$ unabhängig sind. Zwei Definitionen seien daher hier angeschlossen:

a) Lernprozesse, für die mehrere Kombinationsräume $\mathfrak{K}_{\pi_\mu/\mu}$ definiert sind, heißen ´konkurrierend´.
b) Konkurrierende Lernprozesse, für die $F^*(t) = \prod_{\mu=1}^{m} F_\mu(t)$ erfüllt ist, heißen ´unabhängig´.

$F^*(t)$ hätte auch einfacher direkt als Produkt der $F_\mu(t)$ hergeleitet werden können. Eine solche, wenn auch viel kürzere Ableitung, hätte wenig zur Interpretation des Modells und zur begrifflichen Klärung dessen, was ´unabhängige Lernprozesse´ hier heißen soll, beigetragen. Es wäre vor allem unmöglich gewesen, diesen Begriff gegen den Begriff ´abhängige Lernprozesse´abzugrenzen und eine Relation zu definieren, wie etwa:

Unabhängige Lernprozesse	Abhängige Lernprozesse
$F^*_{unabh}(t) = \prod_{\mu=1}^{m} F_\mu(t)$	$F^*_{abh}(t) = \prod_{\mu=1}^{m} F_\mu(t)\, e^{-\lambda \, Rest(\cdot)}$

Im weiteren Verlauf soll nur das Modell für unabhängige Lernprozesse betrachtet werden, insbesondere die Gleichung $F^*(t) = e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu t^{\pi_\mu}}$

4. Schätzung der Parameter

Die Gleichung $H(t) = 1 - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu t^{\pi_\mu}}$ für unabhängige konkurrierende Lernprozesse enthält 2 x m (bzw. sogar 2 x m + 1) Parameter (nämlich $\alpha_1 \ldots \alpha_m$ und $\pi_1 \ldots \pi_m$ und m). Sei zunächst m als bekannt vorausgesetzt, d.i. die Anzahl der konkurrierenden Lernprozesse. Weiterhin sei zunächst angenommen, daß nur der Lernprozeß (bzw. dessen Protokoll) eines einzelnen Lernenden betrachtet werden soll. Damit ist die Frage nach der Verteilung (sowie den entsprechenden Momenten) der Parameter ausgeschlossen. Dies erscheint auch insofern als sinnvoll, als solche Fragen leichter und differenzierter mit ´all-or-none´ Modellen (Bower 1964) behandelt werden können.

Hier sei dagegen eine zusätzliche Erweiterung des Modells eingeführt. Bisher war stets angenommen, daß die konkurrierenden unabhängigen Lernprozesse zu

ein und demselben Zeitpunkt beginnen. Diese Voraussetzung ist in mancher Hinsicht unbefriedigend. Sie läßt sich leicht umgehen, wenn man eine lineare Transformation durchführt und t^{π_μ} durch $(t + C_\mu)^{\pi_\mu}$ ersetzt. Die Bedeutung von C_μ ist dabei die folgende: sei t_ν die Zeit des Lernprozesses (bzw. die Anzahl der 'Versuche') mit dem spätesten Beginn und t_μ die Zeit eines beliebigen anderen Prozesses, so gilt $t_\nu + C_\mu = t_\mu$ also insbesondere $C_\nu = 0$ da ja $t_\nu = t_\mu$ für $\nu = \mu$. Es ist dabei zu beachten, daß stets die Zeit des zuletzt begonnenen Lernprozesses zum Ausgangspunkt genommen werden muß, um offenbar sinnlose Ausdrücke wie $t - c_\mu < 0$ zu vermeiden. Es gilt somit

$$H(t) = 1 - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t - C_\mu)^{\pi_\mu}}$$

und für die Fehlerfunktion

$$F(t) = e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t - C_\mu)^{\pi_\mu}}$$

4.1 Schätzung von α_μ , wenn π_μ , C_μ und m als bekannt vorausgesetzt werden.

Die Parameter π_μ , C_μ und m können immer dann als bekannt vorausgesetzt werden, wenn über die Struktur des Lerngegenstandes und den zeitlichen Einsatz der verschiedenen Lernprozesse vorausgehende Erfahrungen vorliegen oder diese sogar willkürlich determiniert werden können, was bei Experimenten für C_μ stets möglich sein dürfte. Es kommt in diesem Fall darauf an, bei vorgegebener Struktur und vorgegebenen Anfangszeiten die Lernfähigkeit einer Versuchsperson, die hier durch die Parameter α_μ definiert ist, zu bestimmen. Darüber hinaus dürfte in Fällen, in denen die Anfangszeiten vom Versuchsleiter determiniert werden können, $c_\mu = 0$ zumeist möglich oder gar sinnvoll sein. Fehlen exakte Angaben über die Parameter π_μ so ist $\pi_\mu = \mu$ eine erste Näherung, denn einerseits gilt für $\pi_\mu = \pi_\nu$:

$$\ldots \alpha_\nu t^{\pi_\nu} + \ldots \alpha_\mu t^{\pi_\mu} + \ldots = \ldots + \alpha_\nu^* t^{\pi_\nu} \ldots$$

mit $\alpha_\nu^* = \alpha_\nu + \alpha_\mu$ und $\alpha_\mu^* = 0$. Andererseits dürfte die Annahme $m < \pi_\mu$ für $m > 3$ in vielen Fällen kaum nennenswerte Verbesserungen bringen. Diese Vorschläge zur Vereinfachung des Schätzverfahrens bilden jedoch, wie sich im folgenden zeigen wird, keine notwendige Voraussetzung.

Für den oben geschilderten Fall liefert das folgende Verfahren eine Schätzung entsprechend der Methode der kleinsten Quadrate. Seien F_i die empirischen Fehlerquoten und $F(t_i)$ die entsprechenden theoretischen Werte mit

$$F(t_i) = e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}}$$

Sei weiterhin die Differenz $F_i - F(t_i) = d_i$ und die Summe $W = \sum_{i=1}^{n} d_i^2$,

so lassen sich durch partielle Differentiationen nach α_μ und die Minimumbedingungen $\frac{\partial W}{\partial \alpha_\mu} = 0$ und $\frac{\partial^2 W}{\partial \alpha_\mu^2} > 0$ für Schätzungen für die α_μ genähert angeben. Es gilt dabei

$$W = \sum_{i=1}^{n} \left(F_i - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} \right)^2$$

und entsprechend

$$\frac{\partial W}{\partial \alpha_\mu} = \frac{\partial \left\{ \sum_{i=1}^{n} F_i^2 - 2 \sum_{i=1}^{n} F_i e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} + \sum_{i=1}^{n} e^{-2\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} \right\}}{\partial \alpha_\mu}$$

$$= 2 \left[\sum_{i=1}^{n} F_i (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} - \sum_{i=1}^{n} (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} e^{-2\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} \right]$$

Für die zweiten partiellen Ableitungen gilt

$$\frac{\partial^2 W}{\partial \alpha_\mu^2} = -2 \sum_{i=1}^{n} F_i (t_i - c_\mu)^{2\pi_\mu} e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} + 4 \sum_{i=1}^{n} (t_i - c_\mu)^{2\pi_\mu} e^{-2\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}}$$

Für den Fall, daß $2 e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} > F_i$ gilt mit $(t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} > 0$: $\frac{\partial^2 W}{\partial \alpha_\mu^2} > 0$ auch unabhängig davon, ob $\frac{\partial W}{\partial \alpha_\mu} = 0$ ist.

Für $\frac{\partial W}{\partial \alpha_\mu} = 0$ gilt dann mit der Näherung

$$e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}} \simeq 1 - \sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}$$

(die für $\alpha_\mu << (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}$ gut erfüllt ist):

$$\sum_{i=1}^{n} F_i (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} - \sum_{\substack{i=1\dots n\\ \lambda=1\dots m}} F_i \alpha_\lambda (t_i - c_\lambda)^{\pi_\lambda + \pi_\mu} = \sum_{i=1}^{n} (t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} - 2 \sum_{\substack{i=1..n\\ \lambda=1..m}} \alpha_\lambda (t_i - c_\lambda)^{\pi_\lambda}$$

und damit

$$\sum_{i=1}^{n} (F_i - 1)(t_i - c_\mu)^{\pi_\mu} = \sum_{\substack{i=1\dots n\\ \lambda=1\dots m}} (F_i - 2)(t_i - c_\mu)^{\pi_\lambda + \pi_\mu}$$

Es sei $k_\mu = \sum_{i=1}^{n} (F_i - 1)(t_i - c_\mu)^{\pi_\mu}$ mit $K = \begin{pmatrix} k_1 \\ \vdots \\ k_m \end{pmatrix}$

Weiterhin sei

$$a_{\varkappa\lambda} = \sum_{i=1}^{n} (F_i - 2)(t_i - c_\varkappa)^{\pi_\varkappa + \pi_\lambda}$$

mit $\mathfrak{A} = (a_{\varkappa\lambda})$ und $\mathfrak{b} = \begin{pmatrix} \alpha_1 \\ \vdots \\ \alpha_m \end{pmatrix}$

Damit gilt dann $\mathfrak{A}\,\mathfrak{b} = K$ und die Lösung lautet für $|\mathfrak{A}| \neq 0$ in Determinantenschreibweise:

$$\alpha_\mu = \frac{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_1)^{\pi_1+\pi_1} \dots \sum_{i=1}^{n}(F_i-1)(t_i-c_1)^{\pi_1} \dots \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_1)^{\pi_1+\pi_m} \\ \vdots \qquad\qquad \vdots \qquad\qquad \vdots \\ \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_m)^{\pi_m+\pi_1} \dots \sum_{i=1}^{n}(F_i-1)(t_i-c_m)^{\pi_m} \dots \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_m)^{\pi_m+\pi_m} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_1)^{\pi_1+\pi_1} & \dots & \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_1)^{\pi_1+\pi_m} \\ \vdots & & \vdots \\ \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_m)^{\pi_m+\pi_1} & \dots & \sum_{i=1}^{n}(F_i-2)(t_i-c_m)^{\pi_m+\pi_m} \end{vmatrix}}$$

4.2 Die Schätzung der Parameter $\alpha_\mu, C_\mu, \pi_\mu$ ($\mu: 1,\dots m$) nach der Methode der kleinsten Quadrate (v. d. Waerden, 1957)

Nicht immer dürfte es möglich sein, die Größen C_μ und π_μ a priori zu definieren; nicht immer dürfte die Näherung $e^{-\sum_{\mu=1}^{m}\alpha_\mu(t_i-c_\mu)^{\pi_\mu}} \simeq 1-\sum_{\mu=1}^{m}\alpha_\mu(t_i-c_\mu)^{\pi_\mu}$ sinnvoll sein. In Fällen, in denen nicht nur die Lerneigenschaften der Versuchspersonen, sondern auch die (in bezug auf die Versuchspersonen zu definierende) 'Sachstruktur' (Komplexität und zeitlicher Einsatz der verschiedenen unabhängigen konkurrierenden Lernprozesse) als unbekannt gelten, wird es nötig, auch die Parameter C_μ und π_μ zu schätzen, wenn möglich ohne einschränkende Näherung. Ein allgemeines Verfahren zur Lösung dieses Problems wird hier mit Hilfe der Methode der kleinsten Quadrate vorgeschlagen. Es muß dabei jedoch angemerkt werden, daß durch $g_i \sim \frac{1}{\sigma_i^2}$ es notwendig ist, nicht nur eine Versuchsperson zu betrachten, sondern die gesamte Versuchsgruppe für jedes i. Die geschätzten Parameter (vor allem α_μ) können daher nur als 'durchschnittliche Werte' über einer gesamten Gruppe der Versuchspersonen gelten. Die Problemstellung ist hier deutlich eine andere: während im vorangehenden Abschnitt eine individuelle Versuchsperson auf ihre Lerneigenschaften, hinsichtlich einer vorgegebenen 'Sachstruktur' untersucht werden soll, steht hier die Untersuchung der Sachstruktur (durch C_μ, π_μ definiert) im Vordergrund, während für die α_μ nur ein Gruppenwert ermittelt wird.

$$\text{Sei } Q = \sum_{i=1}^{n} g_i\left(F_i^* - e^{-\sum_{\mu=1}^{m}\alpha_\mu(t_i-c_\mu)^{\pi_\mu}}\right)^2 \quad \text{mit} \begin{cases} F_i^* = \frac{1}{N}\sum_{\nu=1}^{N} F_{i\nu} \\ g_i = \frac{1}{\sigma_i^2}\ ;\ \sigma_i = \sigma(F_i) \end{cases}$$

Seien weiterhin α_μ°, C_μ° und π_μ° vorläufige Schätzungen. Sind y_μ ($\mu: 1, 2, \dots, 3m$) die Abweichungen der Schätzungen α_μ°, C_μ° und π_μ° von den wahren Parametern α_μ, C_μ und π_μ und gilt die Näherung

$$e^{-\sum_{\mu=1}^{m}\alpha_\mu(t_i-c_\mu)^{\pi_\mu}} = e^{-\sum_{\mu=1}^{m}\alpha_\mu^\circ(t_i-c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}} + \sum_{x=1}^{3m} a_{ix} y_x$$

(für $\alpha_\mu = \alpha_\mu^\circ + y_\mu$; $C_\mu = C_\mu^\circ + y_{\mu+m}$; $\pi_\mu = \pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m}$)

so gilt:

$$\sum_{i=1}^{n} g_i a_{i\lambda} \Big(\sum_{\varkappa=1}^{3m} a_{i\varkappa} y_\varkappa - (F_i^* - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}}) \Big) = 0$$

also

$$\sum_{\varkappa=1}^{3m} y_\varkappa \sum_{i=1}^{n} g_i\, a_{i\lambda}\, a_{i\varkappa} = \sum_{i=1}^{n} g_i\, a_{i\lambda} (F_i^* - e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}})$$

Mit $\mathfrak{A} = \left(\sum_{i=1}^{n} g_i\, a_{i\lambda}\, a_{i\varkappa} \right)$; $\mathfrak{y} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_{3m} \end{pmatrix}$ und

$$\mathfrak{c} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^{n} g_i a_{i1} (F_1^* - \exp(- \sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}) \\ \vdots \\ \sum_{i=1}^{n} g_i a_{i3m} (F_i^* - \exp(- \sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}) \end{pmatrix}$$

gilt dann $\mathfrak{A}\,\mathfrak{y} = \mathfrak{c}$. Für $|\mathfrak{A}| \neq 0$ lassen sich Lösungen für die $y_1 \ldots y_{3m}$ angeben. Auf ihre Darstellung in Determinantenschreibweise sei verzichtet; sie geschieht entsprechend dem vorigen Abschnitt.

Die Bestimmung der $a_{i\lambda}$ erfolgt dabei nach dem folgenden Schema:

$$e^{-\sum_{\mu=1}^{m} (\alpha_\mu^\circ + y_\mu)(t_i - c_\mu^\circ - y_{\mu+m})^{\pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m}}} = e^{-\sum_{\mu=1}^{m} \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}} + R$$

mit
$$R \simeq y_\mu (t_i - c_\mu^\circ - y_{\mu+m})^{\pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m}}$$
$$+ \alpha_\mu^\circ \sum_{\nu=1}^{\pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m}} \binom{\pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m}}{\nu} (-1)^\nu (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ + y_{\mu+2m} - \nu} \cdot y_{\mu+m}^\nu$$
$$+ \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ} \left[\sum_{\nu=1}^{\infty} \frac{(-1)^\nu}{\nu!} y_{\mu+2m}^\nu (\ln (t_i - c_\mu^\circ))^\nu \right]$$

falls die Reihe im letzten Glied konvergiert.

Daraus folgt:

$$a_{i\mu} \simeq (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ}$$

$$a_{i\mu+m} \simeq \alpha_\mu^\circ \binom{\pi_\mu^\circ}{1} (-1)(t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ - 1}$$

$$a_{i\mu+2m} \simeq \alpha_\mu^\circ (t_i - c_\mu^\circ)^{\pi_\mu^\circ} (-1) \ln (t_i - c_\mu^\circ)$$

für $y_\mu \ll 1$; $y_{\mu+m} \ll 1$; $y_{\mu+2m} \ll 1$.

5. Zusammenfassung

Das hier vorgelegte Modell stellt eine Erweiterung des zur Hull'schen Lernfunktion $H(t) = 1 - \exp(-t)$ vorgelegten Modells dar. Der für die Erweiterung grundlegende Begriff unabhängiger konkurrierender Lernprozesse wurde mengentheoretisch interpretiert. Ähnliche Ansätze wurden schon von Bush und Mosteller vorgeschlagen (Bush und Mosteller, 1951 und 1955, sowie Bush, 1965, S. 167 ff.)

Schrifttumsverzeichnis

G. Bower, Th. R. Trabasso — 'Concept Identification' in Studies in Mathematical Learning Stanford California, 1964, S. 32 ff.

R.R. Bush, F. Mosteller — A Model for Stimulus Genralisation and Discrimination' in Psychol. Review, 1951, S. 413 ff.

Sochastic Models for Learning, New York, 1955

R. R. Bush — 'Identification Learning' in Handbook of Math. Psychology, New York, 1965, hrsg. Luce, Bush, Galanter

W. K. Estes, P. Suppes — 'Foundations of Linear Models' in Studies in Math. Learningtheory, Stanford California, 1959, hrsg. Estes und Bush, S. 137 ff.

K. Heipcke — Zur Deduktion der Hull'schen Lernfunktion in GrKG, 1966, S. 97 ff., Heft 2

D. Morgenstern — Einführung in die Wahrscheinlichkeitsrechnung und Mathematische Statistik. Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1964

B. L. v. d. Waerden — Mathematische Statistik, Berlin, Göttingen, Heidelberg, 1957

Eingegangen am 12. März 1967

Anschrift: Dr. Klaus Heipcke, Päd. Sem., 34 Göttingen, Wagnerstr. 1

PRAGMATISCHE INFORMATION

von Peter Gäng, Berlin

Einleitendes

Einen exakten Begriff der pragmatischen Information einzuführen,erscheint aus zweierlei Gründen wünschenswert: Zum einen aus systematischen Gründen. Semiotisch betrachtet, sind bislang lediglich die "syntaktische Information" und die "semantische Information" theoretisch näher bestimmt worden. Die Dreiteilung der allgemeinen Semiotik in Syntaktik, Semantik und Pragmatik legt nun einen Versuch nahe, auch die pragmatische Information zu explizieren

Zum anderen, und dies scheint wesentlich wichtiger als jene systematische Forderung, haben die bisher erarbeiteten Informationsmaße gewisse Mängel, die daraus resultieren, daß nur bestimmte Teilaspekte des Kommunikationsprozesses berücksichtigt wurden. Sowohl die syntaktische als auch die semantische Information beziehen sich nach den bisherigen Theorien auf die Wahrscheinlichkeit einer Nachricht, handele es sich dabei um die objektive bzw. subjektive Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Zeichen, aus denen Nachrichten zusammengesetzt sind, handele es sich, wie im Falle der semantischen Information, um Werte der bestätigungstheoretischen Maßfunktion für ganze Sätze innerhalb einer bestimmten Logiksprache. Die Gemeinsamkeit der beiden Arten von Informationsmaßen ist auch ihre Schwäche: Die syntaktische Information mißt weder den Inhalt noch den Neuigkeitswert eines Satzes, sondern die Seltenheit seiner Struktur. Daß diese Tatsache sich in der Anwendung "der" Informationstheorie außerhalb derjenigen Bereiche, für die der syntaktische Informationsbegriff ursprünglich erarbeitet wurde, kaum auswirkt, ist allein dem Umstand zu verdanken, daß Seltenheit der Struktur eines Satzes häufig mit Seltenheit seines Inhaltes verbunden ist. Trotzdem ist diese Beschränkung der syntaktischen Information nicht nur abstrakt-theoretisch. Die beiden Sätze "er ist gestorben" und "er ist der physischen Negation seiner Existenz unterlegen" meinen zwar das gleiche, haben aber nichtsdestoweniger verschiedenen syntaktischen Informationsgehalt. Ähnlich verhält es sich auch mit dem semantischen Informationsbegriff, wie er von Bar-Hillel und Carnap expliziert wurde (Y. Bar-Hillel und R. Carnap, 1953).Die von diesen Autoren vorgenommene Reduktion der Semantik auf eine extensionale Logik bringt es mit sich, daß letztlich nur formale Strukturen für den Informationsgehalt einer Nachricht konstituierend werden. Hiergegen sind vom Standpunkt eines weiterreichenden Semantikbegriffs aus Bedenken anzumelden. Dabei ist noch gar nicht an andere Schwierigkeiten,wie an die Ausdrucksarmut der von Bar-Hillel und Carnap verwendbaren Sprachen,sowie an das Auswahlproblem bezüglich der je geeigneten Maßfunktion gedacht.

Diese Bemerkungen tangieren in keiner Weise die nachrichtentheoretische und -technische Bedeutung der syntaktischen Informationsmaße, auch nicht die Brauchbarkeit des semantischen Informationsmaßes für klar umgrenzte Sprachen und je bestimmte Zwecke. Was gebührend herausgestrichen werden soll, ist vielmehr zweierlei: Erstens die Vorsicht, die angebracht scheint,wo es um die Anwendung von Resultaten der syntaktischen wie semantischen Informationstheorie auf Gebieten geht, für die diese Theorien ursprünglich nicht entwickelt wurden,und zweitens die hiermit verbundene Forderung nach ergänzender Ein-

führung eines adäquaten "inhaltlichen" Informationsbegriffs einschließlich der zugehörigen Maßtheorie.

Im folgenden soll versucht werden, wenigstens im Grundsätzlichen einen solchen - nämlich pragmatischen - Informationsbegriff zu entwickeln. Es gilt insbesondere, den Empfänger von Nachrichten so in den theoretischen Entwurf einzubeziehen, daß er nicht nur als Lieferant subjektiver Zeichenwahrscheinlichkeiten auftritt, sondern darüber hinaus zu einem maßtheoretisch relevanten Faktor für die Bestimmung des Informationsgehaltes der in Frage stehenden Nachrichten wird. Die Bestimmung des Informationsgehaltes einer Nachricht wird davon abhängig gemacht, für wen diese Nachricht überhaupt Information beinhaltet. Es soll, mit anderen Worten, geklärt werden, welchen Informationswert eine Nachricht für einen ganz bestimmten Empfänger hat und unter welchen näheren Umständen sie diesen Informationswert besitzt.

1. Zeichentheoretische Überlegungen

In jedem Kommunikationsprozeß werden Zeichen oder Zeichensequenzen von einer Nachrichtenquelle ausgesandt und von einem Empfänger empfangen. Die dabei verwendeten Zeichen entstammen einem Zeichenrepertoire, das, wenn eine aus diesem Repertoire ausgewählte Zeichensequenz für den Empfänger überhaupt Bedeutung haben soll, dem Empfänger mindestens teilweise bekannt sein muß. Der Empfänger muß also in der Lage sein, den Zeichen, aus denen die Sequenz zusammengesetzt ist, mindestens zum Teil Bedeutungen zuzuordnen. Weiterhin ist notwendig, daß der Empfänger nicht nur den einzelnen Zeichen der Sequenz Bedeutungen zuordnen kann, sondern auch, daß die Sequenz für den Empfänger einen sinnvollen Zusammenhang ergibt. Diese Forderungen lassen sich in folgender Weise zu einer Definition des Begriffes der Nachricht zusammenfassen:

Def. 1 Eine Zeichensequenz heiße eine Nachricht für einen bestimmten Empfänger, wenn sie folgende Bedingungen erfüllt:
(a) die Zeichensequenz muß aus Zeichen bestehen, die dem Empfänger mindestens zum Teil bekannt sind;
(b) die Zeichensequenz muß nach vom Empfänger anerkannten syntaktischen Regeln gebildet sein bzw. für den Empfänger in eine Zeichensequenz übersetzbar sein, die diese Bedingung erfüllt;
(c) die Sequenz muß eine Aussage über einen Sachverhalt sein bzw. in eine solche übersetzbar sein.

Unter Verwendung weiter unten noch zu präzisierender Modellvorstellungen läßt sich die Bedingung (c) dieser Definition verschärfen zu:
(c´) die Sequenz muß geeignet sein, für den Empfänger ein internes Außenweltmodell oder einen Bestandteil eines solchen zu konstituieren.

Ausgehend von dieser Definition einer Nachricht, die in zeichentheoretischer Hinsicht von wesentlich pragmatischer Natur ist, läßt sich auch der Begriff der Information einer Nachricht "vorexplikativ" charakterisieren:

Def. 2 Eine Zeichensequenz hat einen von null verschiedenen Informationsgehalt für einen Empfänger, wenn sie folgende Bedingungen erfüllt:

(a) die Zeichensequenz muß gemäß Def. 1 eine Nachricht für den Empfänger sein;
(b) die Zeichensequenz muß einen Sachverhalt behaupten, der dem Empfänger noch nicht bekannt ist;
(c) der Empfänger muß für den von der Sequenz behaupteten Sachverhalt (ein Mindestmaß an) Interesse aufbringen, d.h. die Zeichensequenz muß für den Empfänger motivational relevant sein. (Auf die Bedeutung motivationalen Geschehens im kybernetischen System hat m.E. zum ersten Male H. Stachowiak hingewiesen, 1964.)

Die in der vorliegenden Form noch mit einem hohen Grad an Ungenauigkeit belastete Bestimmung (c) von Def. 2 wird weiter unten präzisiert. Def. 2, die ebenfalls wesentlich pragmatischer Natur ist, läßt sich ein Hinweis auf ein mögliches Maß der pragmatischen Information entnehmen. Während nach Def. 1 eine Zeichensequenz für einen bestimmten Empfänger entweder eine Nachricht ist oder keine Nachricht ist, kann gemäß Def. 2 der Informationsgehalt einer Nachricht größer oder kleiner sein, je nach den Werten der beiden Variablen, die in Def. 2(b) und Def. 2(c) enthalten sind, nämlich je nach dem Grad der Unbekanntheit der Nachricht für den Empfänger und je nach der Größe seines Interesses für die Nachricht. Zeichentheoretisch könnte auch ein Informationsmaß, das Funktion nur einer dieser Variablen ist, als ein Maß für den der Nachricht zukommenden Gehalt an pragmatischer Information eingeführt werden; indes erscheint es um so sinnvoller, die pragmatische Information als abhängig von beiden Variablen zu definieren, als ein derartiges Maß die angedeuteten beiden Maßbestimmungen als mögliche Spezialfälle enthält.

2. Ein Explikationsmodell für die pragmatische Information

Ausgehend von den Def. 1 und 2 bedarf es zur weiteren Explikation der pragmatischen Information der Präzisierung des vorerwähnten "Grades der Unbekanntheit" einer Nachricht und des "Grades von Interesse" an der Nachricht. Welche Anforderungen sind an ein dieser Präzisierung dienendes geeignetes Modell zu stellen? Zunächst ist als Nachrichtenempfänger prinzipiell ein Mensch gedacht, der mit einer bestimmten Umwelt "kommuniziert". Er versucht, sich in dieser seiner Umwelt so zu verhalten, daß je bestimmte seiner Motive befriedigt werden. Um hiermit Erfolg zu haben, muß er eine gewisse Kenntnis über seine Umwelt besitzen, da er nur dann in der Lage ist, sein Verhalten so einzurichten, daß er tatsächlich hinreichende Motivbefriedigung erreicht.

Als ein Modell, das zum einen differenziert genug ist, diesen Sachverhalt adäquat wiederzugeben, zum anderen aber auch exakt genug, um weitgehende, auch quantitative Explikationen zu ermöglichen, scheint das von H. Stachowiak entwickelte "Kybiak"-Modell geeignet (Stachowiak, 1965). Es sei hier mit einigen Modifizierungen umrißhaft beschrieben. Dabei werden einige Vereinfachungen vorgenommen, die im Blick auf den Zweck der hier vorgelegten kurzen Darstellung vertretbar scheinen.

Ein in einer Umwelt (U) existierender Organismus nimmt diese Umwelt mit Hilfe seines Perzeptorsystems wahr. Dabei wird die wahrgenommene Umwelt zu einem internen Modell, dem Außenweltmodell (AWM), verkürzt, das einerseits aus einer Klasse möglicher Motive ein oder mehrere spezifische dieser Motive erregt, andererseits aber an das datenverarbeitende operative Zentrum, den Operator, weitergemeldet wird. Das erregte Motiv konstituiert zusammen mit den aus dem AWM gewonnenen Stimulusfaktoren einen

Motivationsvektor (m), dessen Länge der Intensität des Motivs entspricht. Der auf einen im allgemeinen vieldimensionalen Motivationsraum bezogene Motivationsvektor konstituiert ein motivationales Rahmenprogramm (RP), mit dessen Hilfe aus dem tatsächlichen AWM ein künftiges oder Ziel-AWM entwickelt wird, dessen Realisierung zu einer Reduktion der Motivationsintensität führt. Aus dem Vergleich des tatsächlichen AWM mit dem Ziel-AWM resultiert der jeweilige Handlungsentwurf, an dem sich der Organismus bei der Realisierung des Ziel-AWM orientiert. Dabei muß er über ein System von Transformationsregeln verfügen, die es ihm ermöglichen, zahlreiche mit den verschiedenen Motiven korrespondierende AWM (antizipierend) anzusteuern; denn nur mittels solcher Regeln vermag er sich zielgerichtet in seiner Umwelt zu verhalten. Die Handlungsentwürfe werden im allgemeinen in mehreren Regeldurchläufen korrigiert, bis die an das Ziel-AWM gestellten Bedingungen erfüllt sind. Abb. 1 deutet den beschriebenen Zusammenhang im Blockdiagramm an.

Nun dienen die wiederholten Regeldurchläufe offenbar vor allem der Gewinnung von Information über das Verhalten der Umwelt mit dem Ziel, daß der Handlungsentwurf, der sich der Transformationsregeln zur Umgestaltung der Umwelt bedient, zweckgerichtet korrigiert wird. Das korrigierende Regelungsgeschehen ließe sich also durch nicht von diesen "Versuchen" abhängige Nachrichten über die Reaktivität der Umwelt einschränken und soweit vereinfachen, daß schließlich bei hinreichendem Wissen über die Umwelt und insbesondere über deren Reaktionen auf die Aktionen des Organismus nur noch eine die gewünschte Ziel-Außenwelt herstellende Aktion (Handlungsabfolge) erforderlich ist, ohne daß es in diesem Extremfall der adaptiven Korrektur bedarf.

Damit läßt sich das Modell in folgender Weise modifizieren: Anhand des AWM entwickelt der Organismus in seinem Operator eine Anzahl von Ziel-AWM, die alle in mehr oder weniger starkem Maße zur Reduktion des für das motivationale Programm konstitutiven Motivationsvektors führen können. Jedem dieser Ziel-AWM entspricht ein eigener Handlungsentwurf, wobei diese Handlungsentwürfe freilich insofern mit Unsicherheit belastet sind, als der Organismus nicht unmittelbar über die Information verfügt, inwiefern die aus den Handlungsentwürfen resultierenden Handlungen tatsächlich zu dem gewünschten Erfolg führen. Je nach seinem Wissen über seine Umwelt wird der Organismus al-

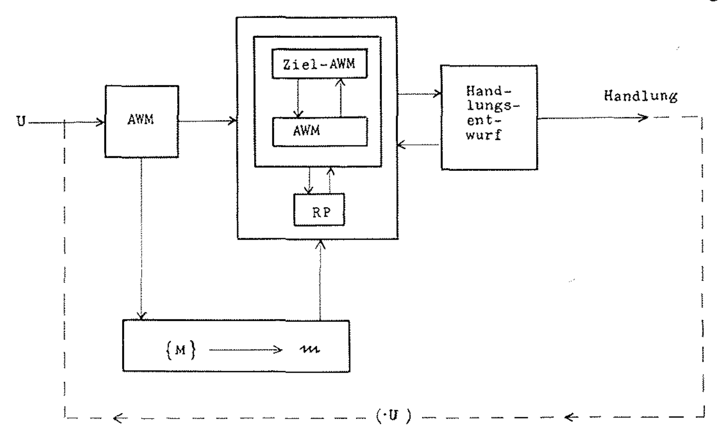


Bild 1 Teildarstellung des "Kybiak"-Modells von H. Stachowiak. Erläuterungen im Text.

so einen der ihm verfügbaren Handlungsentwürfe realisieren und damit eine mehr oder weniger große Motivdruckreduktion (Motivbefriedigung) erzielen. Die erzielbare Motiverfüllung hängt mithin direkt ab von dem Wissen über die Umwelt, und wenn man davon ausgeht, daß das Interesse an einer Nachricht direkt proportional sei zu dem Nutzen, den sie ihrem (motivierten) Empfänger bringt, so ergibt sich auch ein direkter Zusammenhang zwischen der Motivdruckreduktion und der pragmatischen Information gemäß Def. 2(c).

3. Formale Präzisierung des Modells

Um mit Hilfe des oben entwickelten Modells den Begriff der pragmatischen Information explizieren zu können, bedarf es noch einiger weiterer Vorbereitungen. Zunächst die folgenden Bezeichnungskonventionen:

"K" bezeichne einen (motivierten) Organismus der Kybiakklasse (Stachowiak, 1964, 1965), "M_1", "M_2", usw. bezeichne bestimmte Motive, mit denen der Organismus K motiviert sein kann.
"m_1", "m_2", usw. seien die Beträge der aus M_1, M_2 usw. in Abhängigkeit von der Umwelt (Stimulusfaktoren) gebildeten Vektoren $\mathfrak{m}_1$, $\mathfrak{m}_2$, usw.

Ferner werde der Prozeß der Transformation einer bestimmten Umweltgegebenheit in eine andere ein Ereignis genannt.

"$f(A_i, T_j)$" stehe dann für die Aussage "das Ereignis A_i findet in dem Zeitintervall T_j statt", wobei T_j das Zeitintervall t_a bis t_p bezeichnet.

Es lassen sich nun weitere Begriffe, die für die Explikation des Begriffes der pragmatischen Information von Bedeutung sind, definieren. Zunächst soll das Ziel-AWM ersetzt werden durch das Zielereignis. Ein zu einem bestimmten Motiv gehörendes Zielereignis $Z(M_i)$ ist genau dann ein Ereignis, wenn durch sein Stattfinden der Betrag des Motivationsvektors $\mathfrak{m}_i$ auf einen nicht unterschreitbaren Mindestwert r reduziert wird. $Z(M_i)$ ist also die Herstellung einer Umweltgegebenheit, die einem bestimmten der auf M_i basierenden Ziel-AWM entspricht.

Jedes Zielereignis muß sich auf die Befriedigung mindestens eines Motives beziehen, außerdem muß es für jedes Motiv mindestens ein Zielereignis geben.

Def. 3 $\quad (M_i)(A_j) \left[(f(A_j, T_k) \cdot m_i(t_a) > r \supset m_i(t_p) = r) \equiv (A_j = Z(M_i)) \right]$

Da es für jedes Motiv eine ganze Anzahl von Ereignissen gibt, die zu einer mehr oder weniger großen Motivdruckreduktion führen, ist es sinnvoll, alle diese Ereignisse auf das Zielereignis zu beziehen. Hierzu wird der Wert v eines Ereignisses definiert als ein lineares Ähnlichkeitsmaß dieses Ereignisses mit dem Zielereignis. Gedacht ist hier an eine einfache Beziehung, etwa den Quotienten gewichteter motivrelevanter Faktoren der beiden Ereignisse.

Def. 4 $\quad v(A_j, M_i) = ä(A_j, Z(M_i))$

So unhandhabbar Def. 4 zunächst zu sein scheint, ist sie doch pragmatisch anwendbar.

In allen Fällen nämlich, in denen sich eine quantitative Beziehung zwischen einem Zielereignis und der Befriedigung eines Motives überhaupt herstellen läßt, ist eine motivrelevante Quantifizierung des Ereignisses durchaus möglich und damit auch die Bestimmung eines Ähnlichkeitsmaßes. Wenn etwa als Zielereignis der Erwerb einer bestimmten Summe Geldes, das Erlernen einer bestimmten Anzahl von Vokabeln u. dgl. gegeben ist, dann läßt sich die metrische Beziehung leicht definieren. Um dieses Ähnlichkeitsmaß auf 1 zu normieren sei angesetzt

Def. 4 a $$v(A_j, M_i) = \frac{q(A_j)}{q(Z(M_i))}$$

wobei $q(A_j)$ das quantifizierte motivrelevante Merkmal des Ereignisses A_j ist.

Auf der Grundlage der Def. 4 bzw. 4 a ließe sich bereits eine Präferenzordnung herstellen, derzufolge der Organismus K von zwei Ereignissen immer dasjenige bevorzugt, das dem Zielereignis ähnlicher ist. Diese Präferenzordnung würde dann freilich nur für den Fall gelten, daß den einzelnen Ereignissen die gleiche Erwartungswahrscheinlichkeit zukommt. Von daher ist es sinnvoll, die Werte der einzelnen Ereignisse zu gewichten (auf eine Begründung solcher Verfahren kann hier verzichtet werden, vgl. W. Leinfellner, 1965, S. 181 ff.), so daß sich als neue Definition für den Wert eines Ereignisses ergibt:

Def. 5 $$v(A_j, M_i) = \frac{q(A_j)}{q(Z(M_i))} \cdot p(f(A_j))$$

($p(\cdot)$ bezeichnet die Erwartungswahrscheinlichkeiten)

Da der im Abschnitt 2 skizzierte Organismus in seinem Verhalten stets Entscheidungsproblemen unterworfen ist, bedarf speziell sein Entscheidungsverhalten präziser Bestimmungen.

Def. 6 Der Organismus K gehe bei seinen Entscheidungen von den nachstehenden Regeln R1 bis R5 aus. Dabei steht "$bvz(K, A_i, A_j, M_k)$" für "der Organismus bevorzugt das Ereignis A_i vor dem Ereignis A_j genau dann, wenn er bezüglich des Motives M_k entscheidet", entsprechend "bnt(...)" für "...benachteiligt..." und "ind(...)" für "...indiffeiert..." (abkürzend für "...ist indifferent gegenüber...").

R 1 $(A_i)(A_j)(M_k)\ bvz(K, A_i, A_j, M_k) \vee bnt(K, A_i, A_j, M_k) \vee ind(K, A_i, A_j, M_k)$

R 2 $v(A_i, M_k) = v(A_j, M_k) \supset ind(K, A_i, A_j, M_k)$

R 3 $v(A_i, M_k) > v(A_j, M_k) \supset bvz(K, A_i, A_j, M_k)$

R 4 $v(A_i, M_k) < v(A_j, M_k) \supset bnt(K, A_i, A_j, M_k)$

R 5 $(A_i)(A_j)(A_k)(M_1)\ f(K, A_i, A_j, M_1) \cdot f(K, A_j, A_k, M_1) \supset f(K, A_i, A_k, M_1)$,

wo "f(....)" als unbestimmtes Symbol für "bvz(....)" oder "bnt(....)" oder für "ind(....)" steht.

Geht man nun von der (stark vereinfachenden) Annahme aus, daß ein Organismus nur mit genau einem Motiv motiviert ist, daß diesem Motiv genau ein Zielereignis entspricht und daß es eine nichtleere Klasse von Ereignissen gibt, die diesem Zielereignis ähnlich sind, dann läßt sich das Modell weiter dahin interpretieren, daß der Organismus K versuchen wird, ein dem Zielereignis möglichst ähnliches Ereignis herbeizuführen, wobei sein Verhalten davon abhängig sein wird, wie nach seiner Erwartung die Umwelt voraussichtlich auf sein Verhalten reagieren wird. Jede für K relevante Nachricht über diese Umwelt wird demnach das Verhalten des Organismus K beeinflussen, so daß auch die Art des herbeigeführten Ereignisses und damit dessen Ähnlichkeit zum Zielereignis abhängig ist von den K verfügbaren Umweltnachrichten.

4. Spieltheoretische Interpretation des Modells

Im folgenden soll eine mögliche Interpretation des vorangehend entwickelten Modells mit den Mitteln der Spieltheorie entwickelt werden. Dabei geht es um den Nachweis, daß und inwieweit der Wert eines herbeigeführten Ereignisses abhängig ist von den K verfügbaren Umweltnachrichten. Weiter soll mit dieser Interpretation auch eine der möglichen Anwendungen des Modells aufgewiesen werden.

Es wird davon ausgegangen, daß dem Organismus K, der gemäß der oben getroffenen Vereinfachung durch genau ein Motiv motiviert ist, zur Herbeiführung des diesem Motiv entsprechenden Zielereignisses bzw. eines diesem möglichst ähnlichen Ereignisses mehrere Verhaltensweisen zur Verfügung stehen. Diese Verhaltensweisen oder Strategien seien im folgenden mit "S_1", "S_2" usw. bezeichnet. Die Umwelt des Organismus kann auf die verschiedenen Verhaltensweisen von K mit verschiedenen Reaktionsweisen, bezeichnet mit "R_1", "R_2" usw., reagieren.

Das Resultat jedes geordneten Paares mit Elementen aus den Mengen der S und der R sei ein Ereignis, das im folgenden nur noch durch seinen Wert vertreten wird.

Nachrichten über voraussichtliches Verhalten der Umwelt mögen durch "a", "b", "c", usw. symbolisiert sein.

Dem Modell gemäß entsprechen jeder Verhaltensweise von K wie auch jeder Reaktionsweise der Umwelt (im folgenden kurz mit "U" bezeichnet) eine bestimmte Anzahl von Ereignissen. Diese Ereignisse sollen für das folgende so indiziert werden, daß gilt

Def. 7 a $S_1 = [A_{11}, A_{12}, A_{13}, \dots . A_{1i}]$, $S_2 = [A_{21}, A_{22}, A_{23}, \dots . A_{2i}]$, usw.

b $R_1 = [A_{11}, A_{21}, A_{31}, \dots . A_{j1}]$, $R_2 = [A_{12}, A_{22}, A_{32}, \dots . A_{j2}]$, usw.

und damit auch

Def. 8 $S_n \cap R_m = A_{nm}$.

Die Werte der aus je einem Strategie-Reaktions-Paar entstehenden Ereignisse lassen sich in einer Matrix $((v_{ij}))$ anordnen, deren Zeilen den Strategien und deren Spalten den Reaktionen entsprechen.

Es soll nun an einigen Beispielen aufgewiesen werden, wie der Organismus sich je nach dem ihm zur Verfügung stehenden Wissen optimal verhält und wie der Wert des schließlich zustande kommenden Ereignisses von den Nachrichten, über die K verfügt, abhängt.

Man betrachte etwa die Matrix

$$\begin{pmatrix} 0,6 & 0,8 & 0,0 \\ 0,5 & 0,2 & 0,4 \\ 0,1 & 0,1 & 0,9 \end{pmatrix}$$

Ausgegangen wird bei den folgenden Beispielen immer von der Annahme, daß K die Spielmatrix bekannt ist. K soll also eine Anzahl alternativer Handlungsentwürfe entwickelt haben, die mögliche Reaktionen von U sowie den Wert der jeweils resultierenden Ereignisse kennen. Demnach wird das Verhalten des Organismus K von Nachrichten abhängen, die ihm Aufschluß darüber geben, welche der möglichen Reaktionsweisen U unter welchen Bedingungen voraussichtlich auswählen wird.

Folgende Bezeichnungsweisen seien noch festgesetzt:

"$e(K, S_i)$" (bzw. "$e(U, R_j)$")steht für "K (bzw. U) entscheidet sich für die Strategie S_i (bzw. die Reaktion R_j)";

"$\max\limits_i v_{ij}$" ist der größte Werte in der j-ten Spalte, entsprechend ist

"$\min\limits_j v_{ij}$" der kleinste Wert in der i-ten Zeile; schließlich ist

"$\max\limits_i \min\limits_j v_{ij}$" der größte Wert unter den jeweils kleinsten Werten der Spalten.

"S: ..." ist das S mit demselben Index wie "..." (wobei die Leerstelle "..." ausgefüllt werden kann durch einen Wert der Matrix oder auch durch eine durch Operationen mit Werten der Matrix entstandene Größe (etwa eine Zeilensumme usw.)). Analog für "R: ...".

Beispiel 1

a (die Nachricht, die K zur Verfügung steht) besagt, daß U, unabhängig davon, für welches S sich K entscheidet, mit gleicher Wahrscheinlichkeit eines der alternativen R wählen wird. Also:

$$a = \left[(i)(j) \quad p(e(U, R_j) \mid e(K, S_i)) = p(e(U, R_j) = 1/m \right] \text{ (m = Anzahl der R)}$$

Das rationale Entscheidungskriterium, nach dem K seine Strategie auswählen wird, um den erzielbaren Gewinn zu optimieren (d.h. um ein dem Zielereignis möglichst ähnliches Ereignis herbeizuführen), heißt dann: es ist diejenige Strategie zu wählen, bei der der Erwartungswert für das herbeigeführte Ereignis maximal ist, diejenige Strategie also, deren Ereigniswerte das größte arithmetische Mittel liefern. Mithin ist

$$a \supset e(K, S\!: \max_i \sum_j v_{ij}).$$

Der (mittlere, voraussichtliche) Gewinn, den K erzielt (oder anders: die voraussichtliche Ähnlichkeit des herbeigeführten Ereignisses zum Zielereignis) ist dann

$$G = p \sum_j v_{kj}$$

wobei k der Index der gewählten Strategie ist. Im obigen Beispiel würde K demnach S_1 wählen, sein voraussichtlicher Gewinn wäre 0,36.

Beispiel 2

b (die Nachricht, die K zur Verfügung steht) besagt, daß U, unabhängig davon, für welches S sich K entscheidet, mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten eines der alternativen R wählen wird:

$$b = \left[(i)(j) \quad p(e(U, R_j) \mid e(K, S_i)) = p(e(U, R_j)) = p_j \right]$$

Das rationale Entscheidungskriterium ist dann: Auswahl der Strategie, bei der das gewogene Mittel der verschiedenen Werte maximal ist, also

$$a \supset e(K, S: \max_i \sum_j p_j \; v_{ij})$$

Der Erwartungswert des herbeigeführten Ereignisses ist dann gleich dem gewogenen Mittel der Werte der Ereignisse der gewählten Strategie:

$$G = \sum_j p_j \, v_{kj}$$

Auf das obige Beispiel bezogen, wäre bei $p_1 = 0,2$; $p_2 = 0,7$ und $p_3 = 0,1$ die optimale Strategie S_1, mithin der prospektive Gewinn 0,69.

Beispiel 3

c besagt, daß U mit bestimmten Wahrscheinlichkeiten auf die von K angewandte Strategie spezifisch reagiert, also:

$$c = \left[(i)(j) \quad p(e(U, R_j) \mid e(K, S_i)) = p_{ij} \right].$$

Das rationale Entscheidungskriterium lautet wieder dahin, diejenige Strategie auszuwählen, bei welcher der Erwartungswert für das eintretende Ereignis maximal ist, bei der also das gewogene Mittel der Ereigniswerte den größtmöglichen Wert annimmt. Mithin:

$$c \supset e(K, S: \max_i \sum_j p_{ij} \; v_{ij})$$

Für den Gewinn ergibt sich dann

$$G = \sum_j p_{kj} \; v_{kj}$$

Bei der Wahrscheinlichkeitsmatrix

$$\begin{pmatrix} 0,6 & 0,2 & 0,2 \\ 0,1 & 0,1 & 0,8 \\ 0,5 & 0,3 & 0,2 \end{pmatrix}$$

wäre die Strategie S_1 die optimale Strategie, und es wäre G = 0,52.

Beispiel 4

d besagt, daß sich U so ungünstig wie möglich für K verhalten wird, nämlich versuchen wird, den Gewinn von K zu minimieren:

$$d = \left[\, (i) \quad e(K, S_i) \;\supset\; e(U, R{:}\ \min_j \; v_{ij}) \,\right] .$$

Als rationales Entscheidungskriterium für K gilt dann: Es ist diejenige Strategie auszuwählen, bei welcher der minimale Gewinn noch maximal ist, also:

$$d \supset e(K, S{:}\ \max_i \; \min_j \; v_{ij}) .$$

Der erwartbare Gewinn für K ist dann

$$G = \min_j \; v_{kj}$$

Beispiel 5

e besagt (in Analogie zu Beispiel 4), daß U so günstig wie möglich für K reagieren wird:

$$e = \left[\, (i) \quad e(K, S_i) \supset e(U, R{:}\ \max_j \; v_{ij}) \,\right] .$$

Nach dem rationalen Entscheidungskriterium muß sich K für diejenige Strategie entscheiden, bei der der maximale Gewinn maximal ist:

$$e \supset e(K, S{:}\ \max_i \; \max_j \; v_{ij})$$

Der voraussichtliche Gewinn für K ist dann

$$G = \max_j \; v_{kj} \quad .$$

In dem obigen Beispiel würde K bei d (Beispiel 4) S_2 wählen mit einem voraussichtlichen Gewinn von 0,2; bei e (Beispiel 5) die Strategie S_3 mit G = 0,9.

Diese Beispiele ließen sich dahin erweitern, daß nicht nur die Reaktivität der Umwelt mit Wahrscheinlichkeiten belegt wird, sondern auch noch Nachrichten mit Unsicherheit belegt sind. Weiter ließe sich das angenommene Motiv auf ein Motivspektrum derart erweitern, daß K nicht nur unter den verschiedenen Verhaltensweisen, die ein bestimmtes Motiv befriedigen sollen, auswählt, sondern auch noch unter verschiedenen unterschiedlich gewichteten Motiven (dies würde allerdings eine über-motivationale Entscheidungsinstanz in K voraussetzen, etwa ein Willenszentrum, das selbst nicht motivationaler Determination unterliegt - was auf eine psychologisch recht fragwürdige Hypothese hinausliefe).

5. Maßtheoretisches

Die angeführten Beispiele belegen die bereits erwähnte Tatsache, die auch ohnedies intuitiv einsichtig ist: daß nämlich die Erfüllung des Motivs M, die K erzielen kann, davon abhängig ist, inwieweit K das Verhalten von U richtig voraussagen kann oder anders, inwieweit K über entscheidungsrelevante Nachrichten über das Verhalten von U verfügt. Für alle möglichen Fälle läßt sich zeigen, daß stets die Beziehung gilt:

$$_xG_y \leq {_yG_y}$$

wo "$_xG_y$", vollständiger "$^K_xG^M_y$", den Gewinn bezeichnet, den K erzielt, wenn er seiner Entscheidung die Nachricht (oder Hypothese) "x" zugrundelegt, tatsächlich aber "y" der Fall ist. ("$_yG_y$" ist dann der Gewinn, der bei einer Entscheidung aufgrund von "y" erzielt wird, wenn gleichzeitig auch "y" der Fall ist.)

Von diesen Überlegungen ausgehend läßt sich nun ein Maß der "pragmatischen Relevanz" einer Nachricht definieren. Drei Bedingungen wären hier zu erfüllen:

(a) Die pragmatische Relevanz einer Nachricht sollte 0 sein, wenn diese Nachricht dem Organismus K eine Möglichkeit bietet, den zu erzielenden Gewinn zu vergrößern.
(b) Die pragmatische Relevanz sollte gleich 1 genau dann sein, wenn der Organismus ohne Kenntnis dieser Nachricht überhaupt keinen Gewinn erzielen würde, gleichgültig wie hoch der Gewinn ist, den er nach Kenntnis dieser Nachricht zu erzielen vermag.
(c) Die pragmatische Relevanz einer Nachricht sei desto größer, je größer der mit Hilfe dieser Nachricht erreichbare Gewinnzuwachs im Verhältnis zu dem mit Hilfe dieser Nachricht erzielbaren Gewinn ist.

Als Maß, das diese Bedingungen erfüllt, sei vorgeschlagen

Def. 9 $$r(y, x) = \frac{_yG_y - {_xG_y}}{_yG_y} = 1 - \frac{_xG_y}{_yG_y}$$

Als komplementäres Maß zur pragmatischen Relevanz einer Nachricht läßt sich ein Maß der pragmatischen Irrelevanz definieren als

Def. 10 $$ir(y, x) = 1 - r(y, x) = \frac{{}_{x}G_{y}}{{}_{y}G_{y}}$$

Hiervon ausgehend erhebt sich nun die Frage nach einem Maß für die pragmatische Information. Dazu ist es notwendig, den oben zugrundegelegten Wertbegriff (für Ereignisse) und den aus ihm hervorgegangenen Begriff des Gewinns noch etwas näher zu diskutieren.

Ausgangspunkt war, den Wert eines Ereignisses zu definieren als ein Maß der Ähnlichkeit dieses Ereignisses mit einem Zielereignis (vgl. hierzu die Def. 5, 6 und 6 a), dessen Stattfinden zur Befriedigung des diesem Zielereignis entsprechenden Motives führt. Der Wert eines Ereignisses ist aber noch kein Maß für den Grad der Motivbefriedigung - und ein derartiges Maß muß nach dem hier entwickelten Konzept für die Bestimmung der pragmatischen Information konstituierend sein.

Faßt man nun die durch ein Ereignis herbeigeführte Motivbefriedigung auf als response auf den stimulus "Ereignis", so ergibt sich aus der motivrelevanten Quantifizierung des Ereignisses auch die Möglichkeit zur Quantifizierung der Motivbefriedigung. Es wäre dann (in Anlehnung an das Weber-Fechnersche Gesetz) der Zuwachs an Motivbefriedigung, der einem Zuwachs an Ähnlichkeit eines Ereignisses mit dem Zielereignis entspricht, zu definieren als

Def. 11 $$d\,mb\,(M_i) = \frac{dv(A_j)}{v(A_j)} \cdot c$$

Entsprechend ergibt sich dann der Zuwachs an Motivbefriedigung, der einem Gewinnzuwachs entspricht, als

$$d\,mb = k \cdot \frac{dG}{G}$$

und dieses Maß ließe sich dann interpretieren als der "Nutzen"-Zuwachs, der einem Gewinnzuwachs entspricht.

Es liegt nahe, den pragmatischen Informationsgehalt einer Nachricht gleichzusetzen mit ihrem Nutzen für einen Kybiak-Organismus K bezüglich eines Motivs M. Damit ergibt sich als Maß für die pragmatische Information einer Nachricht

Def. 12 $$\mathrm{inf}^{K}_{M}\mathrm{prag}\,(y,x) = \int_{{}_{x}G_{y}}^{{}_{y}G_{y}} k\,\frac{dG}{G}\,\Bigg|_{(K,M)} = k\,(\ln\,{}_{y}G_{y} - \ln\,{}_{x}G_{y}\,\Bigg|_{(K,M)}$$

$$= k \cdot \ln \frac{{}_{y}G_{y}}{{}_{x}G_{y}}\,\Bigg|_{(K,M)}$$

Zur Normierung dieses Informationsmaßes seien in Anlehnung an andere Informationsmaße folgende Konventionen getroffen: Die Maßeinheit sei ein "prag". Dies sei der Betrag an pragmatischer Information einer Nachricht, die es gestattet, den ohne sie erzielbaren Gewinn zu verdoppeln. Damit ergibt sich

Def. 12 a $$\mathrm{inf}_M^K \mathrm{prag}(y,x) = \mathrm{ld} \left. \frac{y^G y}{x^G y} \right|_{(K,M)} = - \mathrm{ld} \left. \frac{x^G y}{y^G y} \right|_{(K,M)} = - \mathrm{ld}\, \mathrm{ir}(y,x) \Big|_{(K,M)}$$

Damit wäre ein Maß definiert, das den eingangs angeführten Ansprüchen genügt. Es gibt den pragmatischen Informationsgehalt einer Nachricht "y" für einen Organismus K bezüglich eines bestimmten Motives M an, wobei der Organismus K sein Verhalten, hätte er keine Kenntnis von "y" gehabt, nach "x" ausgerichtet hätte.

6. Beziehung zur klassischen Informationstheorie

Im Abschnitt 5 waren die folgenden drei Maße definiert worden: das Maß der pragmatischen Relevanz einer Nachricht:

$$r(y,x) = 1 - \frac{x^G y}{y^G y} \qquad \text{(Def. 9)},$$

das Maß der pragmatischen Irrelevanz einer Nachricht:

$$\mathrm{ir}\,(y,x) = 1 - r(y,x) \qquad \text{(Def. 10)}$$

und das Maß der pragmatischen Information einer Nachricht:

$$\mathrm{infprag}(y,x) = - \mathrm{ld}\ \mathrm{ir}(y,x)\,.$$

Als Gewinn, der zur Grundlage dieser Definitionen gemacht wurde, war der Erwartungswert für den Wert des Ereignisses gewählt worden, das bei Anwendung einer bestimmten Strategie eintreten würde.

Reduziert man nun die Zahl der möglichen Ereignisse, die alle ein verschiedenes Maß an Motivbefriedigung herbeizuführen vermögen, auf das Zielereignis, und geht man weiter davon aus, daß die möglichen Nachrichten nichts verändern als die Erwartungswahrscheinlichkeit für das Eintreten dieses Ereignisses, so ergibt sich für die drei definierten Maße:

$$r(y,x) = \frac{p_{nach}(Z) - p_{vor}(Z)}{p_{nach}(Z)} = 1 - \left(p_{vor}(Z) / p_{nach}(Z)\right)$$

$$\mathrm{ir}(y,x) = 1 - r(y,x) = p_{vor}(Z) / p_{nach}(Z)$$

$$\mathrm{infprag}(y,x) = -\,\mathrm{ld}\left[p_{vor}(Z)/p_{nach}(Z)\right]$$

wo $p_{vor}(Z)$ bzw. $p_{nach}(Z)$ die Wahrscheinlichkeiten für das Eintreten von Z vor bzw. nach Empfang der Nachricht y bezeichnen. Das Maß, das sich unter diesen Bedingungen für die pragmatische Information ergibt, stellt also begrifflich eine korrekte Verallgemeinerung des Maßes der syntaktischen Information im Sinne der einleitenden Bemerkungen dar; die zugehörigen beiden Formeln stimmen offenbar miteinander überein.

Schlußbemerkung

Der hier vorgelegte Entwurf kann nicht mehr als einen ersten Ansatz bieten, von dem aus eine linguistisch kritische Theorie der pragmatischen Information auf der Grundlage korrekter Unterscheidung zwischen Objekt- und Metasprache im einzelnen erst in Angriff genommen werden müßte. Als zweifellos wünschenswert, ja notwendig, erscheint insbesondere die vollformalisierte Darstellung des oben entwickelten Definitionssystems.

Gewisse Einschränkungen, denen das definierte Maß der pragmatischen Information zunächst unterworfen wurde, können und sollten dabei nachträglich aufgehoben werden. Hierher gehören die Ausdehnung der Definitionen auf ein Repertoire (Spektrum) von (zum Teil zueinander antagonistischen bzw. sich ausschließenden gegebenenfalls abzustufenden und zu staffelnden) Motiven, die Unsicherheitsbelastung der Nachrichten u.a.m. Schließlich wäre das im letzten Abschnitt nur kurz anvisierte Verhältnis der in Vorschlag gebrachten Definitionen zu den entsprechenden Definitionen der syntaktischen Informationstheorien näher zu untersuchen.

Es ist mir ein herzliches Bedürfnis, diese Arbeit meinem verehrten langjährigen Lehrer und Freund Herbert Stachowiak in Dankbarkeit zu widmen.

Schrifttumsverzeichnis

Y. Bar-Hillel und R. Carnap: Semantic Information. In: Brit. J. Philos. Sci., 4, 1953

Leinfellner, W.: Einführung in die Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie. Mannheim, 1965, S. 181 ff.

Stachowiak, Herbert: Ein kybernetisches Motivationsmodell. In: Lehrmaschinen in kybernetischer und pädagogischer Sicht II, Stuttgart-München, 1964

Stachowiak, Herbert: Denken und Erkennen im kybernetischen Modell, Wien-New York, 1965

Eingegangen am 24. April 1967

Anschrift des Verfassers:
Peter Gäng, 1 Berlin 19, Altenburgerstr. 19 bei Brandt

VERGLEICHENDE STUDIE ÜBER REGLER MIT DAUERNDER UND MIT ZEITWEILIGER RÜCKKOPPLUNG

von Hans Korvin, Berlin

Um ein gegebenes Ziel zu erreichen, bedarf es grundsätzlich zweier Arten von Aktivität:

a) Auffindung von Aktionsmöglichkeiten, die es ermöglichen, das Ziel zu erreichen. Hierzu ist Suchen im allgemeinsten Wortsinn nötig.
b) Verwirklichung der gefundenen Aktionsmöglichkeiten.

Manchmal ist a), manchmal b) eine Lappalie; meist aber verlangt das eine wie das andere Anstrengungen vergleichbarer Größe. Wir werden uns im weiteren nur mit letzteren Fällen befassen, und unter diesen wiederum nur mit solchen, wo das Ziel von einem Kollektiv, einer Gruppe angestrebt wird.

Unsere Einteilung befindet sich in Übereinstimmung mit der P. Hofstätters, der neben dem hier nicht interessierenden Zielsetzen einerseits Suchen und andererseits Durchführen von geeigneten Aktionen als die Haupttätigkeit von Gruppen ansieht. (Hofstätter, 1957)

Sehen wir von der Frage der Arbeitsteilung zunächst ab und fragen wir nach der Verteilung der beiden Tätigkeiten in der Zeit, so ergeben sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten, die, wie die Erfahrung zeigt, in mehr oder minder reiner Form auch praktiziert werden.

I. Alle Gruppenmitglieder arbeiten zunächst eine Zeitlang an a). Dann werden die "Funde", die entdeckten oder erarbeiteten Aktionsmöglichkeiten gemeinsam diskutiert, also bewertet, und es wird schließlich festgelegt - normalerweise durch Abstimmung - welche von den vorgeschlagenen Aktionen von nun an wo, wann, von wem usw. durchzuführen sind. Kurz: Es wird ein Aktionsprogramm festgelegt. Anschließend arbeitet die gesamte Gruppe gemäß diesem Programm, erfüllt also b). Dies geschieht bis zu einem gewissen Zeitpunkt oder bis zur Erreichung gewisser Hilfsziele oder solange bestimmte, hierfür beauftragte Personen es für nötig halten. Danach beginnt das Spiel von neuem: Neue "Funde" (z.B. Änderungsvorschläge für das Programm) werden vorgetragen, diskutiert, man kommt zur Beschlußfassung usw.

II. Die zweite Form der Kombination von a) und b) verläuft bis zur Beschlußfassung wie bei I. Jedoch steht es auch danach den Gruppenmitgliedern oder Untergruppen frei, auch fortan an a) zu arbeiten und evtl. mit dem beschlos-

senen Programm nicht konforme Vorschläge vorzutragen und zu propagieren. Findet ihre Propaganda bei der Mehrheit Anklang, so kann aufgrund dessen das bisherige Programm entsprechend den neuen Vorschlägen geändert werden, ohne daß erst ein bestimmter Zeitpunkt, die Erreichung bestimmter Resultate usw. abgewartet werden muß.

Die Art I ist typisch für den demokratischen Zentralismus, ohne ihn zu erschöpfen. Die Art II ist ein Charakteristikum der Mehrzahl der Vorstellungen von "Demokratie" in den kapitalistischen Ländern, natürlich auch ohne diese zu erschöpfen. Am reinsten scheint mir II im Wissenschaftsbetrieb verwirklicht, und zwar umso stärker, je weniger dieser weltanschauliche Rücksichten zu nehmen braucht. Es ist nur kurz zu erwähnen nötig, daß in praxi I wie II sehr selten rein vorkommen, sondern bei konkreten Zielanstrebungen meist Mischformen vorliegen, die sich nur durch unterschiedliche Anteile von I und II unterscheiden. Deshalb ist es aber natürlich nicht nutzlos, sich mit den reinen Formen I und II zu befassen, denn sie analysiert zu haben ist eine notwendige Voraussetzung für das Verständnis der Mischformen.

Im folgenden bemühen wir uns, die wichtigsten Vor- und Nachteile von I und II in ihrer Abhängigkeit von den uns praxiswichtigsten Faktoren herauszufinden. Sekundär entstehende Vor- und Nachteile, die auf Umwegen aus Psychologischem entstehen, werden wir nur am Rande betrachten.

Zur Lösung unserer Aufgabe betrachten wir zwei Gruppen: Die eine, kurz G I genannt, verfährt nach Prinzip I, die zweite nach Prinzip II. Diese nennen wir darum G II. Wir beschränken uns zuerst auf den Zeitraum bis zum zweiten Zyklus (neuerliche Diskussion). Außerdem soll zwischen G I und G II zunächst einmal keine Kommunikation vorhanden sein. Beide Gruppen sollen gleich sein, dasselbe Ziel anstreben und mit demselben Programm starten. Dieses Programm p_0 möge, wenn die ganze Gruppe nach ihm arbeitet, bewirken, daß sie sich dem Ziel mit Geschwindigkeit $v_0 = 1$ nähert. Weiter nehmen wir an, daß p_0 durch einen entsprechenden Aufwand an Sucharbeit zu einem Programm p_1 verbessert werden kann, welches gestattet, bei vollem Einsatz der Gruppe, sich dem Ziel mit Geschwindigkeit $v_1 = m \cdot v_0 > 1$ zu nähern.

Wie gestaltet sich dann der "Wettlauf" der beiden Gruppen zum Ziel?

G I realisiert mit ganzer Kraft p_0 und kommt also mit v_0 voran. G II hingegen zweigt einen Teil seiner Kraft von Anfang an für die Suche nach einem günstigeren Programm ab, sei es, daß für sie einzelne Mitglieder eingesetzt werden,

sei es, daß jedes Mitglied einen Teil seiner Kraft diesem Suchen widmet. Als Ergebnis hiervon kommt G II zuerst nur mit einer kleineren Geschwindigkeit voran, die $v_o/_n$ sein möge, mit n > 1. G II findet dank seines Suchens aber nach bestimmter Zeit ein besseres Programm, nehmen wir an, p_1, und arbeitet nach ihm vom Zeitpunkt t_1 ab. Man sieht nun leicht ein, daß G II zu einer bestimmten Zeit t_2 G I überholen wird, wenn m > n, $m/_n$ also > 1, mit anderen Worten, wenn der Gewinn, den das Arbeiten gemäß p_1 gibt, den Verlust überkompensiert, der davon rührt, daß G II nur einen Teil seiner Kraft für das Realisieren (2) einsetzt, was auch für $t > t_1$ der Fall sein möge. t_2, der Überholungsmoment, errechnet sich so: In t_2 haben beide, G I und G II, gerade "gleich lange Wege" zum Ziel zurückgelegt, also

$$t_2 - t_o = \frac{1}{n} ((t_1 - t_o) + m (t_2 - t_1))$$

Kürzen wir $t_2 - t_o$ mit Ü (Überholzeit) und $t_1 - t_o$ mit F (Finde- und Einführungszeit für p_1) ab. $t_2 - t_1$ ist dann Ü - F.

$$Ü = \frac{1}{n} F + \frac{m}{n} (Ü - F) = \frac{1}{n} F + \frac{m}{n} Ü - \frac{m}{n} F$$

$$Ü(1 - \frac{m}{n}) = \frac{1}{n} F (1 - m)$$

$$Ü = F \frac{1 - m}{n - m}$$

Diese Umformung zeigt klarer als die Anfangsgleichung das folgende:

1. Ü wird umso größer, je größer F wird, d.h. je später das bessere Programm eingeführt wird (im allgemeinen, weil es später gefunden wurde).
2. Ü wird umso größer, je größer n ist, d.h. je mehr Kraft von G II für das Suchen abgezweigt wird (ein Einwand hiergegen wird sogleich behandelt werden).
3. Ü wird umso größer, je kleiner der Vorteil des neuen Programmes gegenüber dem anfänglichen ist, je kleiner also m - n ist.

Wir haben der Einfachheit wegen angenommen, daß v_o wie v_1 konstant sind. Dem wird in der Wirklichkeit natürlich nie so sein. Die Überlegenheit von p_1 über p_o wird sich vielmehr darin äußern, daß für genügend große Zeitspanne $t_b - t_a$

$$\int_{t_a}^{t_b} v_1 \, dt > \int_{t_a}^{t_b} v_o \, dt$$

ist. Dann wird die erforderliche Bedingung zwischen m und n komplizierter, der Leser mag sie, wenn er will, aufstellen. Wir verzichten darauf, weil diese Komplizierung das Entscheidende unseres Gedankenganges nicht berührt.

Sehr wichtig ist die Wahl eines optimalen n für G II. Ist n sehr klein (wenig Kraft für 1) eingesetzt), so wird ein besseres Programm erst sehr spät gefunden, also: F wird groß. Doch kommt G II anfangs fast so schnell voran wie G I.

Wird hingegen n groß gewählt (viel Kraft für das Suchen aufgewandt) so wird p_1 zwar relativ schnell gefunden, doch geht das Realisieren nur langsam voran.

n darf weder 0 noch maximal sein. In beiden Fällen ist Überholen unmöglich. Wo es "in der Mitte" liegen muß, ist aus unserer Formel nicht ableitbar, denn dies Optimum hängt von Faktoren ab, die in ihr nicht enthalten sind. Es sind dies die folgenden:

a) F hängt ab von der Natur des Zieles und der allgemeinen Situation, vor allem der Intelligenz der Gruppe, dieses Wort im weitesten Wortsinn genommen.
b) F hängt ab von der Güte G_o des Anfangsprogrammes p_o. Ist dies schon optimal, so besteht nämlich keinerlei Chance, ein besseres zu finden. In diesem Extremfall wäre Suchen Unsinn.

a) ist wegen seiner Vagheit nicht faßbar, b) können wir aber in unsere Formel einbauen. Wenn G_o, G_1 ... passend quantifizierbar sind, gilt $F = G/_{f(n)}$, wobei f(n) mit wachsendem n zunimmt. Der einfachste Fall f(n) = n wird in praxi kaum je vorkommen.

Die verbesserte Formel lautet also: $Ü = G_o/_{f(n)} \cdot \frac{1 - m}{n - m}$.

Man überzeugt sich durch Differenzieren, daß Ü für ein bestimmtes n ein Minimum wird.

Es macht keine grundsätzliche Schwierigkeit vom Fall der Auffindung eines besseren Programmes und seiner Einführung in t_1 überzugehen zu Fällen, wo in t_{1a}, t_{1b}, t_{1c} ... G II weitere Programme steigender Güte, also mit immer größeren m einführt, und so sein Zielannäherungstempo mehrfach steigert. Die Formel wird dann nur länger, kann aber rein schematisch gewonnen werden.

Nun einige Überlegungen, die einige Praxiserfahrungen einbeziehen:
Erstens: Fast nie findet man auf Anhieb ein tatsächlich optimales Programm. G II's Suchen ist von hier aus gesehen also fast immer berechtigt. Aber
Zweitens: Viele Aufgaben sind befristet, wenn also Ü kleiner als ein vorgegebener Wert sein müßte.

Im letzteren Falle ist das Vorgehen à la G II mehr oder weniger riskant, evtl. mit großer Sicherheit als falsch zu bezeichnen. Denn wenn ein Ziel in bestimmter Zeit, der gesetzten Frist, mit vollem Krafteinsatz mit p_o gerade erreicht werden kann, ist es ein Hazardspiel, wenn man einen Teil seiner Kraft zur Suche nach einem besseren Programm abzweigt, nicht wissend, ob man es rechtzeitig finden wird. Findet man es nicht, so wird man, weil nicht mit voller Kraft am Realisieren arbeitend, die gesetzte Frist nämlich n i c h t einhalten können.

Eine weitere Gefahr kommt in praxi hinzu: Daß das neue Programm tatsächlich n mal besser als das alte ist, ist meist nicht sicher, sondern nur wahrscheinlich, und diese Wahrscheinlichkeit ist oft m e r k l i c h kleiner als 1. (Wir hätten darum in unsere Formel noch Wahrscheinlichkeiten einzuführen, natürlich auch für das alte Programm, wollen aber die diesbezüglichen Probleme der Einfachheit wegen nur verbal behandeln.)

Schließlich kann die Suchtätigkeit außer dem Entzug von Kräften für 2) noch besondere Nachteile bringen. Nicht in allen Fällen ist das Suchen ein risikoloser Vorgang. Man hat hierzu nicht nur an solche spektakulären Ziele wie die Herstellung von Sprengstoffen zu denken, das Problem ist viel genereller. Suchen ist sehr oft unvermeidlich mit Versuchen, mit Experimentieren gekoppelt, und dieses wird oft genug ein Risiko für die Aufrechterhaltung von v_o darstellen oder gar die Existenz der Gruppe gefährden, denn Versuche sind oft dadurch charakterisiert, daß man nicht alle ihre möglichen Ausgänge im voraus hinlänglich kennt. Dieses Bedenken bleibt - im Gegensatz zu den vorangegangenen - auch bei unbefristeten Zielstellungen erhalten.

Vorgehen à la G I ist darum umso mehr zu bevorzugen
1) je befristeter die Aufgabe ist;
2) je unsicherer die rechtzeitige Auffindung eines wirklich ausreichend besseren Programmes ist;
3) je wahrscheinlicher das Auftreten von Störungen der Zielerreichung oder Gefährdung der Gruppe infolge des Suchens ist.

Nun zur Betrachtung möglicher primärer Nachteile von G I gegenüber G II! Der entscheidende Unterschied zwischen unseren beiden Modellen besteht darin, daß G I verglichen mit G II im Durchschnitt weniger sucht, was auch gilt, wenn wir die Betrachtung auf beliebig lange Zeit, nicht nur einen Zyklus, ausdehnen. Wer nun weniger sucht, der erhält auch weniger Information, da jegliches Suchen, Sammeln und Verarbeiten von Information auch dann ist, wenn es erfolgreich ist. Im letzteren Falle gewinnt man nämlich Information darüber, was

gewiß keinen Erfolg bringt. In praxi sammelt man natürlich bei jeglichem Realisieren ungewollt Information. Dies gilt aber für G I und G II, und darum spielt es für die uns interessierende Differenz keine Rolle. Außerdem ist dieser Betrag recht gering, verglichen mit dem, der durch bewußtes Suchen gewonnen wird. Noch mehr gilt letzteres für die Informationsverarbeitung, die im Gegensatz zur Sammlung weit schlechter "nebenbei" erfolgen kann.

Geringere Informiertheit ist nun trivialerweise umso nachteiliger bei einer Zielanstrebung, je mehr Information für sie nötig ist. Die Fälle, wo G I gegen G II im Nachteil ist, sind als generell dadurch gekennzeichnet, daß zur Zielerreichung hohe Informationsquantitäten entscheidend sind. Das wird der Fall sein vor allem

1. je unbefriedigender das anfängliche Programm ist, je mehr es Anstrengungen, Unannehmlichkeiten, Gefahren usw. beinhaltet, deren Unvermeidlichkeit nicht evident ist. Und diese werden umso weniger unabänderlich erscheinen, je komplexer die Situation ist. Je komplexer etwas ist, umso mehr noch unbekannte Möglichkeiten zum Besseren wie zum Schlechteren pflegt es zu enthalten. Negativ ausgedrückt: nur in relativ einfachen Situationen ist es wahrscheinlich, daß schon die ersten Konzeptionen optimal sind.

2. Je stärker und/oder schneller sich der Zustand der Gruppe und/oder der Umwelt ändert. Denn dadurch wird es umso unwahrscheinlicher, daß ein anfänglich günstiges Programm an Wert verliert und verlangt, modifiziert oder durch ein völlig neues ersetzt zu werden, damit man auf der Höhe der Aufgaben bleibt. Dies Erfordernis tritt in praxi besonders bei Vorliegen von Konkurrenz ein, man weiß nur selten, wie und wann die Konkurrenz die Lage verändert. Genauso wie Konkurrenz kann jedoch auch das Auftreten irgendwelcher unerwarteten Mißlichkeiten innerhalb der Gruppe oder in der Umwelt wirken. In allen diesen Fällen ist es ein Mangel an Voraussehbarkeit, der längeres Festhalten an einem Programm ohne dessen dauernde Überprüfung als nachteilig erscheinen läßt.

Die zuletzt umrissene Problematik kann man auch als Reglungsproblem auffassen: die Realisierung jeglichen Programmes muß mit den Resultaten dieser Realisierung auf die günstigste Weise rückgekoppelt sein, und die zu entscheidende Frage ist, ob G I oder G II in der konkreten Situation günstiger ist.

Bei G I herrscht nur zeitweilige Rückkoppelung (grob gesprochen, genauer: die Rückkopplung ist zeitweilig merklich reduziert, wenn wir berücksichtigen, daß bei jeglichem Programmrealisieren die Gruppenmitglieder ja nie völlig als vollständige bloße Effektoren agieren, sondern stets auch mit der Programmrealisierung zusammenhängende Informationen aufnehmen). Eine zeitweilige Unter-

brechung bzw. Reduzierung der Rückkopplung erweist sich umso riskanter, je zahlreichere, schwerwiegendere und unbekanntere Störungen während der betreffenden Zeit vorkommen.

Indem man unser Problem unter dem Gesichtspunkt der Reglung sieht, erkennt man auch eine für G II typische Gefahr. Je umfangreicher die Sucharbeit, also je subtiler und empfindlicher die Rückkopplung ist, umso größer und häufiger die Gefahr der Überempfindlichkeit. Diese äußert sich z. B. darin, daß bei harmlosen Ereignissen oder Störungen, die sich "von selbst erledigen", sogenannter "falscher Alarm" geschlagen und dadurch unnütz Kraft vergeudet wird, Zeitverluste u. ä. entstehen. Auf diese negativen Möglichkeiten hat z. B. Mackay hingewiesen.

Das Schema der Reglung zeigt schließlich, daß das Verhalten von G I ein Mittelzustand ist zwischen einerseits dem von G II und andererseits dem einer Gruppe, die mit dem anfänglich erhaltenen Programm für alle Zeiten weiterarbeitet, also bar jeglicher Rückkopplung im obigen Sinn ist. G I ist dabei um so näher G II, je günstiger das Verhältnis von Vorbereitung und damit Suchzeit zur Realisierungszeit ist, je weniger die Regelung also ausgeschaltet ist.

Wenn zur Zielerreichung viel Information erforderlich ist, kann trotzdem mit beträchtlichem Erfolg à la G I gearbeitet werden, falls diese erforderliche Information auf andere Weise als durch eigenes Suchen gewonnen werden kann. Der praktisch wichtigste Fall ist der der Übernahme der von G II gewonnenen Informationen. Da Information von anderer Seite übernehmen weit schneller möglich ist, als sie selbst zu erarbeiten, kann G I bei informativer Bindung an G II im "Wettlauf" um die Zielerreichung immer wieder weitgehend an den von G II erreichten Stand aufschließen. Allerdings, Überholung ist in unserem Modell unmöglich, da, sobald G II überholt wäre, G I ja keine Informationsquelle mehr hat, aus der sie, ohne selbst suchen zu brauchen, schöpfen könnte. Sofern nicht permanent, sondern nur schubweise neue Informationen nötig sind, ist freilich auch ein Überholen möglich, jedoch nur für begrenzte Zeit. Dann fällt G I wieder hinter G II zurück. Es wird also unter den zuletzt angenommenen Bedingungen sich ein Bild immer erneuten Ein- und evtl. kurzfristigen Überholens von G II durch G I bieten, dem aber ebenso ein immer neues Zurückfallen folgen wird. Da das Übernehmen und für die eigenen Verhältnisse Verwerten der Information eine gewisse Zeit verlangt, wird in praxi mit einem gewissen zusätzlichen unvermeidlichen Rückstand G I gegen G II zu rechnen sein. Es wäre für die Bestätigung des eben Ausgeführten von großem Wert, wenn man in der gesellschaftlichen Praxis bei Konkurrenz von I-Gruppen mit II-Gruppen feststellen könnte, daß erstere mehr und häufiger von letzteren Informationen über-

nehmen als umgekehrt, und ob man auch solches Einholen und Wiederzurückfallen beobachten kann. Unser Modell läßt ferner erwarten, daß Anstiege der pro Zeiteinheit zur Zielannäherung nötigen Informationsmenge, z. B. Komplizierungen der Umwelt oder der Gruppe selbst, Tendenzen zum (wenigstens teilweisen) Übergang von G I nach G II bewirken. Wie weit diese freilich Gestalt annehmen, hängt von der Stärke der Gegenfaktoren ab, z. B. von der Gefahr erhöhter Risiken. Da das Abwägen letzterer gegen den drohenden Tempoverlust für lange Zeitspannen eine subjektive Angelegenheit sein kann, wird diese Tendenz freilich oft genug stark verschleiert sein.

Abschließend berücksichtigen wir, um unser Modell um einen weiteren Schritt den Bedingungen der Wirklichkeit anzugleichen, daß normalerweise in einer Gruppe deren Mitglieder weder alle streng dieselben Ansichten noch Interessen haben. Selbst wenn alle das Ziel erreichen wollen, werden unterschiedliche Auffassungen über Details des Zieles vorliegen. Beides kann dazu führen, daß in einer Gruppe G I oder G II ein erarbeitetes, günstigeres Programm nicht und dafür ein weniger gutes als Richtschnur angenommen wird oder in Kraft bleibt, sei es weil die nötige Einsicht bei der Mehrheit zunächst fehlt, sei es weil besondere Interessen mit dem besseren Programm stärker kollidieren als mit dem ungünstigeren.

Dann war die entsprechende Sucharbeit natürlich - zumindest bis auf weiteres umsonst, und man hätte auf sie besser von vornherein verzichtet. Freilich ist solcher rechtzeitiger Verzicht oft nicht durchführbar, da sich so manche Interessenkollision nicht voraussehen läßt.

Man muß als Praktiker schließlich an die Möglichkeit denken, daß manche Suche von vornherein, ohne daß dies freilich eingestanden würde, nur als Farce genommen wird, daß man das bestehende Programm gar nicht ändern, aber den Anschein erwecken will, als würde nach Verbesserungen gesucht, sei es weil man sich hiervon verspricht, auf andere einen guten Eindruck zu machen, sei es um Suchfreudige nicht zu verärgern. Kybernetisch gesprochen liegt bei solchem Sachverhalt ein Regler mit defektem Effektor vor, ein regelungstechnisch sehr nutzloses Gebilde. Natürlich ist solcher Mißstand sowohl bei einer G I wie auch einer G II möglich. Ob es wenigstens psychologisch Dauerwert haben kann, ist auch fraglich, da ja sein Atrappencharakter nicht endlos unverborgen bleiben kann.

Um weiter an die realen Verhältnisse heranzukommen, haben wir als weiteres zu fragen, inwieweit I und II sich auf die Erhaltung der Gruppe als Ganzes zu tatsächlicher Regeltätigkeit auswirken. Diese Frage aufzuwerfen ist aus folgen-

dem Grunde nützlich: Die Praxis zeigt, und man hat es in der Literatur auch schon öfters theoretisch abgeleitet, daß in jeglicher Gruppe unvermeidlich eine Führung besteht oder sich sehr schnell bildet. Wenn es in der Gruppe nach einer Beschlußfassung für längere Zeit keine Erlaubnis zum weiteren Suchen, Kritisieren, Werben für Neues usw. gibt, so beinhaltet dies u.a., daß es für diese Zeit dies auch nicht bezüglich der Führung gibt, also kein Suchen nach Mängeln derselben, keine Werbung für ihre Veränderung und dgl. Dergestalt völlig "in Ruhe gelassen", bekommt die Führung günstige Gelegenheit, die ihr bis zur nächsten Beschlußfassung verliehene Macht ungestört zu verankern. Die Folge kann sein, daß es ihr bei der nächsten Beschlußfassung mehr oder minder leicht gelingt, aufgrund ihrer Machtverankerung ihr unliebsame Entscheidungen des Restes der Gruppe zu unterbinden oder de facto unwirksam zu machen. Damit ist das Prinzip I faktisch beseitigt, mag ihm formal auch weiterhin Genüge geleistet werden.

Wieder wäre an der gesellschaftlichen Wirklichkeit zu prüfen, ob derartige Veränderung bei I-Gruppen relativ häufig vorkommt, ob etwa gar eine entsprechende Tendenz zu beobachten ist. Diese Tendenz müßte sich freilich, wenn man ein signifikantes Ergebnis erhalten will, heraussondern lassen aus Trends zu Such- und Entscheidungsverzichten (Ruf nach dem "starken Mann"), die in GI und G II auftreten können. Natürlich stellt sich nun die Frage, unter welchen Umständen die dergestalt veränderte Gruppe, früher G I, ihre Konkurrenzfähigkeit infolge jener Veränderung vergrößert oder vermindert hat. Das hieße aber, die Frage nach dem Nutzen oder Schaden von Demokratie überhaupt, also ein neues und zudem höchst umfangreiches Thema als Anhang zu behandeln. Verständlicherweise verzichten wir hierauf.

Schrifttumsverzeichnis

Hofstätter, Peter R.: Gruppendynamik, Rowohlt, Hamburg, 1957

Eingegangen am 20. Januar 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Hans Korvin, c/o Hardtmann, 1 Berlin 45, Lorenzstr. 65

KYBERNETISCHE VERANSTALTUNGEN

Vom 24. - 28. März 1968 "VI. Symposion über Programmierte Instruktion und Lehrmaschinen" im Deutschen Museum in München. Anmeldung: Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI), c/o Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100. Kongreßsprache: Deutsch.

Der Anmeldetermin für Hauptreferate ist verstrichen, für Mitteilungen bis 31. 10. 1967 an den wissenschaftlichen Tagungsleiter Prof. Dr. H. Frank, Adresse wie oben.
Im Zusammenhang mit dem Symposion findet eine Fachausstellung von Lehrmaschinen, Lehrprogrammtexten, Sprachlehrgeräten und Fachliteratur statt.

3. Kybernetik-Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik: 23. bis 26. April 1968, München. Programme und Anmeldeformulare, die etwa Ende des Jahres 1967 zur Verfügung stehen, können bei der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik, D-6 Frankfurt/Main 70 (Bundesrepublik Deutschland), Stresemann-Allee 21, VDE-Haus, angefordert werden.

Fachtagung kybernetische Pädagogik der österreichischen Mitglieder der Gesellschaft für Programmierte Instruktion, Februar 1968, Wien. Anfragen an:
A. G. Holzer, A 1010 Wien 1, Heinrichsgasse 2.

Symposion über Lehrmaschinentechnik und theoretische Grundlagen der kybernetischen Pädagogik, veranstaltet von der Arbeitsgruppe Kybernetik der Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI) zusammen mit der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag 1968.
Kongreßsprachen: Tschechisch, Slowakisch, Deutsch. Anfragen an:
Ing. Zdeněk Křečan CSc., Lehrstuhl für Unterrichtstechnik an der Päd. Fakultät der Karls-Universität Prag, Praha 1, Rettigové 4.

ÜBER EINE MÖGLICHE PRÄZISIERUNG DER BESCHREIBUNG ÄSTHETISCHER ZUSTÄNDE

von Siegfried Maser, Stuttgart

Ästhetik ist die Wissenschaft vom kritischen Beurteilen des Schönen, vom kritischen Beurteilen ästhetischer Merkmale, ästhetischer Zustände. Solch kritisches Beurteilen kann klassifikatorisch (schön - nicht schön), komparativ (schön - weniger schön - sehr schön) oder quantitativ (zahlenmäßige Festlegung des Schönheitsgrades, s. u.) geschehen, wobei die Präzision und damit der Gehalt der Urteile in dieser Reihenfolge zunimmt.

Verstehen wir mit Galilei, Birkhoff, Bense u.a. Ästhetik im Sinne einer empirischen oder Real-Wissenschaft über wirkliche, verwirklichte ästhetische Objekte oder Zustände, so besteht das Grundproblem einer solchen Ästhetik in der Realdefinition des Begriffes "ästhetischer Zustand". Realdefinition bedeutet aber die Angabe eines Meßverfahrens (vgl. z.B. in der Physik).

Solche Realdefinitionen für ästhetische Zustände finden wir einerseits in Birkhoffs makroästhetischem Ansatz, der als makroästhetisches Maß $M_{Ä}$ den Quotienten von dargestellter Ordnung O pro aufgewendeter materialer Komplexität C einführt, also $M_{Ä} = \frac{O}{C}$, und andererseits im mikroästhetischen Ansatz der Informationsästhetik von Bense, Frank, Gunzenhäuser u.a., welche als mikroästhetisches Maß $M_{ä}$ den Quotienten von Redundanz R pro Entropie H einführen, also $M_{ä} = \frac{R}{H}$, wobei ein ästhetisches Objekt als Zeichen, als Botschaft, als Nachricht aufgefaßt wird. Der Nachweis für die Adäquatheit und Zweckmäßigkeit dieser Ansätze wurde von M. Bense in seiner Aesthetica (1965) erbracht. Im folgenden sollen beide Ansätze eine weitere Präzisierung erfahren durch Vervollständigung und Objektivierung der Meßverfahren.

(1) Makroästhetik (Birkhoff: $M_{Ä} = \frac{O}{C}$)

Birkhoffs Anliegen ist es, die Natur des "ästhetischen Erlebnisses" quantitativ zu erfassen, also die Beziehung zwischen einem ästhetischen Objekt (Expedient) und einem Subjekt (Perzipient), das sich durch das Objekt zu einem ästhetischen Erlebnis affizieren läßt. Das ästhetische Maß $M_{Ä}$ soll diese Beziehung quantitativ erfassen. Dabei findet Birkhoff einerseits eine Proportionalität zwischen $M_{Ä}$ und O, dem Ordnungsverhalten des Objektes, und andererseits eine umgekehrte Proportionalität zu dessen Komplexität C, also insgesamt eine Proportionalität zum Quotienten O/C. Für O und C gibt er dann, jeweils in Abhängigkeit von der zu untersuchenden ästhetischen Familie, verschiedene Aspekte und deren numerische Bewertung an, wobei die Aspekte durch die Objekte selbst festgelegt werden, deren Bewertung aber vom Perzipienten abhängig sind und daher psychologisch begründet werden.

Diese Methode soll kurz an einem Beispiel von Birkhoff (etwas vereinfacht!) dargestellt werden, nämlich an der Familie ebener Polygonformen (vgl. Bild 1).



Bild 1

Für diese spezielle Familie bestimmt Birkhoff C, O und damit $M_{\ddot{A}}$ durch folgende Festlegungen:

$$M_{\ddot{A}} = \frac{O}{C} = \frac{V + E + R + HV - F}{C} \quad , \quad \text{wobei}$$

C = Anzahl der verschiedenen Geraden, auf denen die Polygonseiten liegen.

$$V = \begin{cases} 1, & \text{falls Vertikalsymmetrie vorliegt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$E = \begin{cases} 1, & \text{falls Gleichgewicht vorliegt,} \\ -1, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$R = \begin{cases} q/2, & \text{mit } \alpha = \frac{2\pi}{q}\text{, falls Rotationssymmetrie mit } \alpha \leq \frac{\pi}{2} \text{ vorliegt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$HV = \begin{cases} 2, & \text{falls nur horizontale und vertikale Geraden auftreten,} \\ 1, & \text{falls wenige Ausnahmen,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$F = \begin{cases} 0, & \text{falls erfreuliche Form vorliegt,} \\ 2, & \text{sonst.} \end{cases}$$

Die hierbei auftretenden Begriffe werden bei Birkhoff hinreichend präzisiert und ihre unterschiedliche Bewertung (± 1! ± 2!) wird psychologisch begründet.

Für die Figuren von Bild 1 ergeben sich dann z.B. die folgenden Werte:

$$M_{\ddot{A}}(a) = \frac{1 + 1 + 2 + 2 - 0}{4} = 1,50$$

$$M_{\ddot{A}}(b) = \frac{1 + 1 + 2,5 + 0 - 0}{5} = 0,90$$

$$M_{\ddot{A}}(c) = \frac{0 - 1 + 0 + 0 - 0}{6} = -0,17$$

$$M_{\ddot{A}}(d) = \frac{0 - 1 + 0 + 0 - 2}{4} = -0,75$$

Dabei erhält das Quadrat den maximal möglichen Wert $M_{\ddot{A}} = 1,5$.

Neuer Ansatz: Der folgende Ansatz geht ebenfalls von einer Proportionalität zwischen makroästhetischem Maß und dem Quotienten von Ordnung und Komplexität aus (Birkhoff), wobei allerdings die Begriffe Ordnung und Komplexität bzw. deren Meßvorschriften allein auf das ästhetische Objekt bezogen werden: Es soll eine rein objektive, vom Perzipienten unabhängige und

quantitativ präzisierte Beschreibung ästhetischer Zustände erreicht werden. Die Thematik liegt also im folgenden *allein* beim ästhetischen Objekt und dessen Beschreibung, nicht bei den Erlebnissen, die solche Objekte auslösen können.

Sei $\mathcal{L}$ die *Komplexität* oder der materiale Aufwand eines ästhetischen Objektes, so besteht $\mathcal{L}$ aus einer Menge von elementaren, materialen Konstruktionsmitteln, die zum *vollständigen* Aufbau, zur vollständigen Konstruktion des ästhetischen Objektes notwendig sind. Dabei sollen in $\mathcal{L}$ nur die zur vollständigen Konstruktion *notwendigen* Elemente aufgenommen werden, d.h. auf Minimalität soll geachtet werden. Die Menge $\mathcal{L}$ ist somit allein vom ästhetischen Objekt bzw. von einer ästhetischen Familie abhängig. $\mathcal{L}$ kann in m disjunkte Teilmengen $\mathcal{L}_i$ (i = 1, 2, ..., m) aufgespalten werden, derart, daß die Mengen $\mathcal{L}_i$ jeweils Konstruktionselemente einer bestimmten Sorte oder eines bestimmten *Aspektes* enthalten. Solche Aspekte wären z.B. im visuellen Bereich Farbe, Form und Intensität (also m = 3) oder eventuell noch andere mehr, im akustischen Bereich z.B. Tonhöhe, Tonstärke u.ä.

Insgesamt gilt dann für die Komplexität:

$$\mathcal{L} = \mathcal{L}_1 \cup \mathcal{L}_2 \cup \ldots \cup \mathcal{L}_m = \bigcup_{i=1}^{m} \mathcal{L}_i$$

wobei für alle $i \neq j$ $\mathcal{L}_i \cap \mathcal{L}_j = \emptyset$ ist (disjunkte Teilmengen!).

Die *quantitative Erfassung* der einzelnen $\mathcal{L}_i$ erfolgt so (nach Birkhoff), daß $|\mathcal{L}_i| = C_i$ = die Mächtigkeit von $\mathcal{L}_i$ bedeutet, also die minimale Anzahl der Elemente von $\mathcal{L}_i$. Alle C_i sind sicher von Null verschieden und bei endlichen Objekten endlich, so daß eine spätere Division durch C_i jeweils durchführbar ist. Für das Folgende ist es nicht zweckmäßig, die C_i (i = 1, ..., m) zu einer Gesamtkomplexität C aufzusummieren, es ist dagegen sinnvoll, jeweils ein Ordnungsmaß O_i zu jedem C_i und damit $M_{\ddot{A}_i} \sim O_i / C_i$ zu bestimmen und erst diese $M_{\ddot{A}_i}$ zu einem ästhetischen Gesamtmaß $M_{\ddot{A}}$ aufzusummieren (s.u.).

Sei $\mathcal{O}$ die *Ordnung* oder besser die *Anordnung* der Elemente von $\mathcal{L}$ in einem speziellen Objekt, so besteht $\mathcal{O}$ aus einer Menge von *Eigenschaften*, die die Anordnung der Elemente von $\mathcal{L}$ *vollständig*, d.h. eindeutig beschreiben. Es ist sinnvoll, diese Menge $\mathcal{O}$ von Eigenschaften analog zu $\mathcal{L}$ in Teilmengen aufzuspalten, derart, daß eine Teilmenge $\mathcal{O}_i$ von Eigenschaften gerade die Anordnung der materialen Elemente von $\mathcal{L}_i$ vollständig festlegt. Es gilt dann entsprechend:

$$\mathcal{O} = \mathcal{O}_1 \cup \mathcal{O}_2 \cup \ldots \cup \mathcal{O}_m = \bigcup_{i=1}^{m} \mathcal{O}_i,$$

wobei die O_i nicht notwendig disjunkt sind ($\mathcal{O}_i \cap \mathcal{O}_j$ evtl. $\neq \emptyset$ für $i \neq j$), da eine Eigenschaft wie z.B. Harmonie sich je auf Farben, Formen, Töne usw. anwenden läßt, also auf verschiedene Aspekte.

Eine solche Teilmenge $\mathcal{O}_i$ bestehe aus einer Menge von n_i Eigenschaften $\mathcal{E}_{ij}$ (j = 1, 2, ..., n_i), wobei die Anzahl n_i von Eigenschaften nicht in jeder Teilmenge dieselbe sein muß (es können etwa mehr Eigenschaften notwendig sein,

um die vollständige Anordnung von Farben auf einem Bild zu bestimmen, als die Anordnung von Formen). Der Index i einer Eigenschaft $\mathcal{E}_{ij}$ bezieht sich auf den Komplexitätsaspekt, der Index j auf die anordnende Eigenschaft.

Die quantitative Erfassung der $\mathcal{E}_{ij}$ erfolge generell so, daß

$$|\mathcal{E}_{ij}| = E_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{falls } \mathcal{E}_{ij} \text{ (voll) zutrifft,} \\ e, \text{ mit } 0 < e < 1, & \text{falls Zwischenwerte möglich sind,} \\ 0, & \text{falls } \mathcal{E}_{ij} \text{ nicht zutrifft.} \end{cases}$$

Aufgrund dieser einheitlich normierten Bewertung aller Anordnungseigenschaften (für alle E_{ij} gilt: $0 \leqq E_{ij} \leqq 1$), aufgrund der gleichberechtigten Berücksichtigung aller anordnenden Eigenschaften (es liegen keine psychologisch begründete oder willkürlich subjektive Bevorzugungen oder Benachteiligungen vor!), ist es erlaubt, die Ordnung $\mathcal{O}_i$ in Bezug auf die Komplexität $\mathcal{C}_i$ quantitativ als Summe aller Maßzahlen E_{ij} der Eigenschaften $\mathcal{E}_{ij}$ von $\mathcal{O}_i$ zu verstehen, also

$$|\mathcal{O}_i| = O_i = \sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}.$$

Auch die $\mathcal{O}_i$ (und damit $\mathcal{O}$) sind wie die $\mathcal{C}_i$ (und damit $\mathcal{C}$) allein vom ästhetischen Objekt bzw. von der ästhetischen Familie abhängig, nicht vom Perzipienten. O_i und C_i sind daher jeweils objektive Zahlen-Werte.

Für die einzelnen Aspekte i ergibt sich dann nach Birkhoff je ein $M_{\ddot{A}_i} \sim \frac{O_i}{C_i}$

oder $$M_{\ddot{A}_i} = k_i \frac{O_i}{C_i} \text{ birk}$$

wobei die normierende Konstante k_i so eingeführt werden soll, daß für alle $M_{\ddot{A}_i}$ gilt: $0 \leqq M_{\ddot{A}_i} \leqq 1$. Dadurch erhält $M_{\ddot{A}_i}$ eine Dimension oder Einheit, deren Benennung "1 Birkhoff" oder abgekürzt "1 birk" heißen soll. 1/1000 birk oder 1 Mikrobirk soll abgekürzt durch "1 mb" bezeichnet werden. Die Konstante k_i ist allein abhängig von $\mathcal{O}_i$ und $\mathcal{C}_i$, also allein vom Objekt und Aspekt, und es gilt:

$$k_i = \frac{1}{\text{Max}\left(\frac{O_i}{C_i}\right)} = \frac{\text{Min}\,(C_i)}{\text{Max}\,(O_i)} = \frac{1}{n_i}$$

Also gilt: $$M_{\ddot{A}_i} = \frac{O_i}{n_i C_i} \text{ birk.}$$

Die Einheit "1 birk" ist dabei der maximal mögliche ästhetische Wert.

Da hierdurch wiederum alle Aspekte i durch Werte $M_{\ddot{A}_i}$ zwischen 0 und 1 festgelegt werden, also alle Aspekte gleichberechtigt sind, kann als makroästhetisches Gesamtmaß $M_{\ddot{A}}$ einfach die normierte Summe aller $M_{\ddot{A}_i}$ eingeführt werden,

also $$M_{\ddot{A}} = k \sum_{i=1}^{m} M_{\ddot{A}_i} \quad \text{birk},$$

wobei $M_{\ddot{A}}$ in birk gemessen wird, wenn k so eingeführt wird, daß $0 \leqq M_{\ddot{A}} \leqq 1$ gilt. Es ergibt sich für k wie oben: $k = \frac{1}{m}$.

Damit gilt insgesamt:

$$M_{\ddot{A}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}}{n_i \cdot C_i} \quad \text{birk}$$

wobei

$M_{\ddot{A}}$ = makroästhetisches Gesamtmaß,

m = Anzahl der berücksichtigten Komplexitätsaspekte,

E_{ij} = Maßzahlen der berücksichtigten Anordnungseigenschaften,

n_i = Anzahl der Anordnungseigenschaften bzgl. des Aspektes i,

C_i = Komplexität bzgl. des Aspektes i.

Soll jetzt etwa bei einer ästhetischen Analyse ein Aspekt i gar nicht berücksichtigt werden, wenn z.B. nur Formen, nicht Farben etc. interessieren, so liefern solche Aspekte i zu $M_{\ddot{A}}$ keinen Beitrag, da dann $O_i = 0$ und $C_i \neq 0$, also $M_{\ddot{A}_i} = 0$ ist.

Das Birkhoffsche Problem des ästhetischen Erlebens ließe sich hier jetzt als sekundäres Problem anschließen, indem die Ordnungsmaßzahlen O_i noch entweder mit subjektiv abhängigen oder aber mit psychologisch-statistisch zu bestimmenden Geschmacksfaktoren α_i versehen werden, so daß wir dann als subjektives makroästhetisches Maß, als Maß für das subjektive Gefallen, oder besser als subjektiven makroästhetischen Wert $W_{\ddot{A}}$ folgendes erhalten:

$$W_{\ddot{A}} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\alpha_i \cdot \sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}}{n_i \cdot C_i} \quad \text{birk}$$

Hierbei bestimmen die α_i (i = 1, ..., m) entweder die subjektive Bewertung der Aspekte, das subjektive Gewicht, das ihnen von einem Perzipienten beigelegt wird, $W_{\ddot{A}}$ stellt dann einen subjektiven makroästhetischen Gesamtwert für diesen Perzipienten dar, oder aber die α_i sind repräsentative Mittelwerte solcher subjektiver Geschmacksfaktoren verschiedener Perzipienten, $W_{\ddot{A}}$ stellt dann einen makroästhetischen Gesamtwert für die repräsentierte Gruppe dar. Die empirische Bestimmung dieser Koeffizienten dürfte für Probleme der Werbung, der Mode und des Design sehr wesentlich sein.

Anwendung dieser Methode am Beispiel der Familie der Vierecke (vgl. Bild 2):

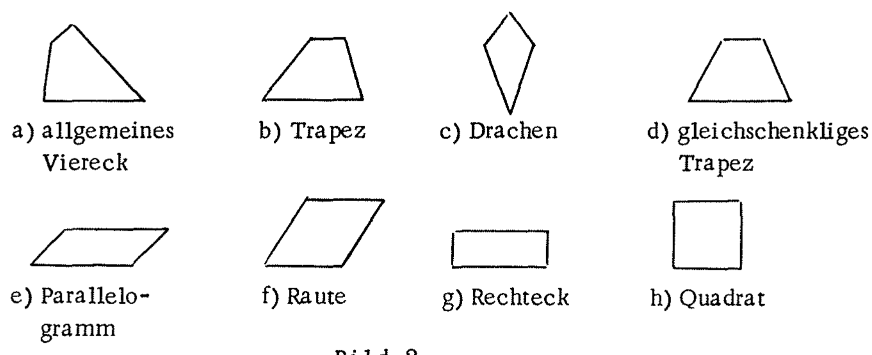


Bild 2

Die folgende Analyse soll sich allein auf die Form der Objekte beschränken, alle anderen Aspekte wie z. B. Größe, Farbe, Stofflichkeit etc. sollen außer acht bleiben. Es gilt also m = 1. Die Komplexität $\mathcal{L}$ besteht also nur aus $\mathcal{L}_1$, und $\mathcal{L}_1$ ist die Menge der materialen Elemente, aus denen sich die Form der Figuren vollständig aufbauen läßt. Es ist daher sinnvoll, als Elemente von $\mathcal{L}_1$ die 4 Strecken zu betrachten, aus denen sich die Vierecke zusammensetzen. Weitere Elemente, wie Punkte oder Winkel sind nicht notwendig (vgl. ein Viereck ist in der Mathematik zwar durch 5 Stücke erst eindeutig bestimmt, aber die Anordnung der 4 Strecken wird ja noch in $\mathcal{O}$ besonders berücksichtigt!). Es gilt also für alle Objekte unserer Familie

$$|\mathcal{L}_1| = C_1 = 4.$$

Die Ordnung oder Anordnung der 4 Elemente aus $\mathcal{L}_1$ wird vollständig festgelegt durch folgende Eigenschaften:

$$E_{11} = \begin{cases} 1, & \text{falls Vertikalsymmetrie vorliegt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$$E_{12} = \begin{cases} 1, & \text{falls Horizontalsymmetrie vorliegt,} \\ 0, & \text{sonst.} \end{cases}$$

$E_{13} = \dfrac{360^\circ - \alpha}{360^\circ}$, wobei α den kleinsten Winkel bedeutet, um den die Figur gedreht wieder mit der Ausgangsposition deckungsgleich ist (Rotationssymmetrie).

$E_{14} = \dfrac{p}{2}$, wobei p die Anzahl der auftretenden Parallelenpaare bedeutet.

$E_{15} = \dfrac{4 - t}{3}$, wobei t die Anzahl der verschiedenen auftretenden Längen bedeutet.

$E_{16} = \dfrac{4 - w}{3}$, wobei w die Anzahl der verschiedenen auftretenden Winkelgrößen bedeutet.

Es gilt für alle E_{ij} : $0 \leq E_{ij} \leq 1$; $i = 1$
$j = 1, 2, \ldots, n_1 = 6$

Es folgt für $M_{Ä} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} \frac{\sum_{j=1}^{n_i} E_{ij}}{n_i \cdot C_i}$ birk

oder $M_{Ä} = 1 \cdot \frac{\sum_{j=1}^{6} E_{1j}}{6 \cdot 4}$ birk

also $M_{Ä} = \frac{1}{24} \cdot \sum_{j=1}^{6} E_{1j}$ birk (vgl. Tafel 1).

Objekt	C_1	E_{11}	E_{12}	E_{13}	E_{14}	E_{15}	E_{16}	$M_{Ä}$ [birk]	$M_{Ä}$ [mb]	$M_{Ä}$ nach Birkhoff
allg. 4-Eck	4	0	0	0	0	0	0	0	0	- 0,25
Trapez	4	0	0	0	1/2	0	0	0,0208	21	0,25
Drachen	4	1	0	0	0	2/3	2/3	0,0972	97	0,50
gleichsch. Trapez	4	1	0	0	1/2	1/3	2/3	0,1042	104	0,50
Parallelogramm	4	0	0	1/2	1	2/3	2/3	0,1180	118	0,50
Raute	4	0	0	1/2	1	1	2/3	0,1319	132	0,50
Rechteck	4	1	1	1/2	1	2/3	1	0,2153	215	1,25
Quadrat	4	1	1	3/4	1	1	1	0,2396	240	1,5

Tafel 1

Durch die obige Analyse erhält jedes der Form nach verschiedene Objekt (vgl. unseren betrachteten Aspekt!) auch ein verschiedenes $M_{Ä}$, d. h. die ästhetische Analyse kann als vollständig bezeichnet werden (im Gegensatz zu Birkhoffs Methode - vgl. letzte Spalte von Tafel 1 - wo etwa Drachen, gleichschenkliges Trapez und Parallelogramm je denselben Wert erhalten, obgleich sie sich bezüglich der Form wesentlich unterscheiden!).

Die Angabe der Stellenzahl hinter dem Komma bei $M_{Ä}$ ist im Grunde beliebig, da sie nur durch Division ganzer, abgezählter (= "abgemessener") Zahlen entsteht. Zu Vergleichszwecken kann daher ohne weiteres auf ganzzahlige Mikrobirk auf- bzw. abgerundet werden (vgl. vorletzte Spalte in Tafel 1).

(2) Mikroästhetik ($M_{ä} = \frac{R}{H}$).

Die Erörterungen von R. Gunzenhäuser in seiner Arbeit "Ästhetisches Maß und ästhetische Information" (1962) schließen sich unmittelbar an Birkhoffs Ansatz an. Durch eine informationstheoretische Interpretation von $M_{Ä} = O/C$ erhält

Gunzenhäuser als Maß für die ästhetische Information den Quotienten von subjektiver Redundanz R pro statistischer Information H. Die Thematik hierbei liegt also wiederum in der Beziehung zwischen ästhetischem Objekt und einem Subjekt, das sich zu einem ästhetischen Erlebnis affizieren läßt.

Der folgende Absatz geht ebenfalls von einer Proportionalität zwischen mikroästhetischem Maß und Redundanz pro Entropie aus (Gunzenhäuser), wobei jedoch die Begriffe Redundanz und Entropie wieder allein auf das ästhetische Objekt bezogen werden: Es soll eine rein objektive, vom Perzipienten unabhängige, vollständige und quantitativ präzisierte Beschreibung der mikroästhetischen Zustände erreicht werden (in völliger Analogie zum obigen makroästhetischen Ansatz).

An die Stelle der Komplexität $\mathcal{C}$, die Menge der elementaren Konstruktionsmittel, tritt hier als informationstheoretisches Äquivalent ein Repertoire Rep, eine Menge von Zeichen, die zum vollständigen Aufbau des ästhetischen Objektes, der ästhetischen Botschaft, notwendig sind. Als verschiedene Aspekte treten hier zunächst einmal die Aspekte in bezug auf Zeichen überhaupt auf, also Syntaktik, Semantik und Pragmatik, wobei jedoch bei den beiden letzteren bereits der Perzipient eine Rolle spielt, so daß für eine rein objektive mikroästhetische Untersuchung allein die Syntaktik, allein die "Mittel der Zeichen" im Sinne von Peirce, von Bedeutung sind. Es liegt eine materiale Ästhetik vor (Bense). Der semantische und pragmatische Aspekt ist makroästhetisch mit Hilfe semiotischer und topologischer Methoden beschreibbar (vgl. Bense: Theorie der Texte, 1962).

Der materiale Aspekt der Zeichen läßt sich nun wiederum in verschiedene Teilaspekte aufspalten, nämlich aufgrund des Superisationsgrades der Zeichen, die als Elemente des Repertoires betrachtet werden. Über die Superisationsschemata hängen die verschiedenen Teilaspekte untereinander zusammen. Dieser Zusammenhang läßt sich mit Hilfe von Graphen explizite darstellen.

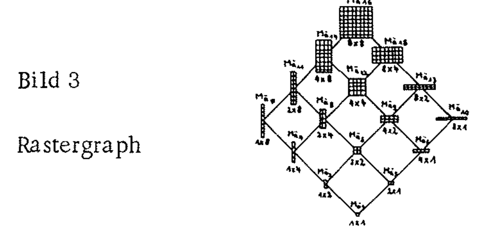
Im folgenden ist die allgemeine Methode vollständiger mikroästhetischer Analyse an Hand einer einfachen ästhetischen Familie aus dem visuellen Bereich dargestellt, nämlich am Beispiel von "Rasterbildern", wobei ein solches Rasterbild aus 8 x 8 = 64 quadratischen Rasterelementen bestehen soll, die als solche nur weiß oder schwarz sein sollen (vgl. Bild 4-8). Eine Erweiterung dieser Familie auf beliebiges Format, auf mehrfarbige Rasterelemente und auf Rasterpunkte, wie sie etwa beim Farbfernsehen auftreten, bringt keine prinzipiellen Schwierigkeiten.

Eine vollständige Analyse hat sämtliche möglichen Superisationsschemata, d.h. sämtliche möglichen Raster zu berücksichtigen. Für unsere ästhetische Familie genügt es zunächst, nur diejenigen Raster zu betrachten, die sich quadratisch oder rechteckig aus den ursprünglichen Rasterelementen bilden lassen und die das Bild vollständig und ohne Randüberschneidung überdecken. Dieser Ansatz stellt im Grunde eine Verallgemeinerung der Theorie der Markow-Ketten auf zweidimensionale Fälle dar: Ist ein ästhetisches Objekt, eine ästhetische Botschaft linear angeordnet, wie z.B. in der Musik oder bei sprachlichen Gebilden, so kann man zunächst den informationsästhetischen Ansatz beziehen auf ein Repertoire von Ausgangselementen, also auf Noten bzw. Buchstaben, und

deren Wahrscheinlichkeiten. In einem zweiten Schritt kann man dann bedingte Wahrscheinlichkeiten berücksichtigen, d. h. Wahrscheinlichkeiten, mit denen ein Element a_j auf ein Element a_i folgt. In einem dritten Schritt werden Wahrscheinlichkeiten berücksichtigt, mit denen ein Element a_k auf ein Paar von Elementen $a_i a_j$ folgt, und so weiter fort (vgl. Die Shannonsche Approximationsmethode von synthetischen Texten an eine natürliche Umgangssprache). Solche bedingten Wahrscheinlichkeiten werden durch die Rastermethode in den zweidimensionalen Fall übertragen, wobei als "Bedingungen" die Umgebungen von Elementen in den durch das Raster selbst bevorzugten Richtungen (horizontal und vertikal) berücksichtigt werden. Die Superisationen verlaufen horizontal und vertikal. Explizite treten zwar hier die Verbundwahrscheinlichkeiten auf, diese hängen jedoch mit den bedingten Wahrscheinlichkeiten unmittelbar zusammen (vgl. Produktregel der Wahrscheinlichkeitstheorie: $p(x, y) = p(x) \cdot p_x(y)$). Es gibt für unsere spezielle Familie m = 16 verschiedene solche Raster oder Aspekte, wobei der Rastergraph den Zusammenhang der verschiedenen Raster (Inklusion) kennzeichnet (vgl. Bild 3).

Bild 3

Rastergraph



Für unser Beispiel ergibt sich so für die Komplexität

$$Rep = \{ Rep_1, Rep_2, \ldots, Rep_{16} \} \; ; \; m = 16,$$

mit

$$Rep_1 = \begin{Bmatrix} a_{1j} \\ p_{1j} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \square & \blacksquare \\ p_{11} & p_{12} \end{Bmatrix} \; ; \; n_1 = 2$$

$$Rep_2 = \begin{Bmatrix} a_{2j} \\ p_{2j} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} ⊟ & ▄ & ▀ & ▮ \\ p_{21} & p_{22} & p_{23} & p_{24} \end{Bmatrix} \; ; \; n_2 = 4$$

$$Rep_3 = \begin{Bmatrix} a_{3j} \\ p_{3j} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} ◫ & ▐ & ▌ & ▬ \\ p_{31} & p_{32} & p_{33} & p_{34} \end{Bmatrix} \; ; \; n_3 = 4$$

Allgemein:

$$Rep_i = \begin{Bmatrix} a_{ij} \\ p_{ij} \end{Bmatrix} \text{ mit } \begin{array}{l} i = 1, 2, \ldots, m \\ j = 1, 2, \ldots, n_i . \end{array}$$

Die quantitative Erfassung der Repertoires Rep_i geschieht informationstheoretisch zweckmäßig durch die Entropie H_i - diese entspricht eher dem Birkhoffschen Komplexitätsmaß als die statistische Information $N_i H_i$ - d.h. es gilt:

$$Rep_i = \{ a_{i1}, a_{i2}, \ldots, a_{ij}, \ldots, a_{in_i} \}$$

p_{ij} = die Wahrscheinlichkeit, mit der das Element a_{ij} im Objekt auftritt, also

$p_{ij} = \frac{h_{ij}}{N_i}$ = absolute Häufigkeit von a_{ij} pro Anzahl N_i aller auftretenden Rasterelemente überhaupt.

$$|Rep_i| = H_i = -\sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \text{ ld } p_{ij} \text{ bit}$$ (Entropie nach Shannon-Weaver)

Alle H_i sind von Null verschieden, falls Rep_i wenigstens zwei verschiedene Elemente enthält (s. u. Sonderfälle).

Die Ordnung oder Anordnung σ_i der Elemente a_{ij} aus Rep_i wird informationstheoretisch durch die Redundanz R_i bestimmt, es gilt also

$$|\sigma_i| = R_i = \frac{H_{Max_i} - H_i}{H_{Max_i}},$$

wobei $H_{Max_i} = \text{ld } n_i$ bit beträgt.

H_i und R_i sind durch das Objekt und das Raster bzw. durch das Repertoire eindeutig festgelegt, sie sind *nicht* vom Perzipienten abhängig (die scheinbare Abhängigkeit vom Perzipienten durch die spezielle Rasterauswahl liegt effektiv nicht vor, wenn *alle* möglichen Raster berücksichtigt werden!).

Für die einzelnen Repertoires Rep_i ergibt sich nach Birkhoff - Gunzenhäuser je ein

$$M_{ä_i} \sim \frac{R_i}{H_i} \quad \text{oder} \quad M_{ä_i} = c_i \cdot \frac{R_i}{H_i} \text{ birk}$$

Die Konstanten c_i sind wiederum so festzulegen, daß $0 \leqq M_{ä_i} \leqq 1$ gilt. Die c_i sind allein vom Repertoire abhängig und es gilt:

$$c_i = \frac{1}{\text{Max } (R_i/H_i)} = \frac{\text{Min } (H_i)}{\text{Max } (R_i)} = \text{Min } (H_i)$$

wobei $\text{Min } (H_i) = -\frac{1}{N_i} \text{ ld} \frac{1}{N_i} - (1 - \frac{1}{N_i}) \text{ ld } (1 - \frac{1}{N_i})$ ist, wenn N_i die Anzahl aller Rasterelemente ist, $1/N_i$ also die kleinste Wahrscheinlichkeit ist, mit der ein Element a_{ij} aus Rep_i überhaupt auftreten kann (das Element a_{ij} tritt dann gerade einmal auf und die restlichen $N_i - 1$ Elemente sind untereinander alle gleich, aber ungleich a_{ij}!).

Da hierbei wieder alle Raster (= Aspekte i) durch Maßzahlen $M_{ä_i}$ zwischen 0 und 1 festgelegt werden, also alle Raster gleichberechtigt sind, kann als *mikroästhetisches Gesamtmaß* $M_ä$ einfach die normierte Summe aller $M_{ä_i}$ eingeführt werden, also

$$M_ä = k \sum_{i=1}^{m} M_{ä_i} \text{ birk},$$

wobei $0 \leqq M_ä \leqq 1$ gelten soll, also $k = 1/m$ ist.

Damit gilt insgesamt $$M_{ä} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{m} c_i \cdot \frac{R_i}{H_i} \quad \text{birk}$$

wobei $M_ä$ = mikroästhetisches Gesamtmaß

m = Anzahl der berücksichtigten Repertoires $Rep_i = \left\{ \begin{matrix} a_{ij} \\ p_{ij} \end{matrix} \right\}$

mit $i = 1, 2, \ldots, m$
$j = 1, 2, \ldots, n_i$.

$$H_i = - \sum_{j=1}^{n_i} p_{ij} \; ld \; p_{ij} \quad \text{bit (Entropie)}$$

$$R_i = \frac{H_{Max_i} - H_i}{H_{Max_i}} \quad \text{(Redundanz)}$$

$$H_{Max_i} = ld \, n_i \quad \text{bit}$$

$$c_i = Min(H_i) = - \frac{1}{N_i} \; ld \frac{1}{N_i} - \left(1 - \frac{1}{N_i}\right) ld \left(1 - \frac{1}{N_i}\right)$$

N_i = Anzahl aller Rasterelemente im Raster i.

2 Sonderfälle:

(a) Es tritt in einem Repertoire nur 1 Element $a_{ij} = a$ mit der Wahrscheinlichkeit 1 auf: $Rep_i = \{ a \}$. Dann gilt:

$$H_i = - p(a) \cdot ld \, p(a) = - ld \, 1 = 0$$

$$R_i = \frac{H_{Max_i} - H_i}{H_{Max_i}} = \frac{0 - 0}{0} \quad !!!$$

d.h. hier ist $M_{ä_i}$ nicht berechenbar. Man setzt in diesem Fall sinnvoll $M_{ä_i} = 0$.

(b) Alle p_{ij} von a_{ij} aus Rep_i sind gleich: $p_{ij} = \frac{1}{n_i}$.

Dann gilt: $H_i = H_{Max_i} = ld \, n_i \neq 0$, sonst Fall (a).

$$R_i = \frac{H_{Max_i} - H_{Max_i}}{H_{Max_i}}$$

also $$M_{ä_i} = 0.$$

Analog zu oben könnten auch in der Mikroästhetik Geschmacksfaktoren α_i eingeführt und damit ein subjektiver mikroästhetischer Wert $W_ä$ bestimmt werden.

Im Rastergraphen zeigt sich sehr deutlich der Übergang von Mikroästhetik zur Makroästhetik (von unten nach oben!): Im 8 x 8 - Raster liegt stets Sonderfall (a) vor, d.h. $Mä_{16} = 0$, d.h. der mikroästhetische Beitrag verschwindet, wenn das Objekt als Ganzes als einzelnes Superelement aufgefaßt wird, hier gibt es nur makroästhetische Aspekte. Im Raster 4 x 8 (bzw. 8 x 4) tritt Sonderfall (b) (bzw. (a)) auf, je nachdem, ob Vertikalsymmetrie (bzw. Horizontalsymmetrie) vorliegt oder nicht, es ist also auch $Mä_{14} = Mä_{15} = 0$. Diese Raster entsprechen ebenfalls makroästhetischen Aspekten und sind in $M_{Ä}$ berücksichtigt. Da $M_{Ä}$ und $M_{ä}$ jeweils durch Maßzahlen zwischen 0 und 1 gemessen werden, läßt sich letztlich als ästhetisches Gesamtmaß überhaupt, als im Objekt enthaltene Ästhetik Ä angeben:

$$Ä = \frac{M_{ä} + M_{Ä}}{2} \qquad \text{birk}$$

Für die Bilder 4 - 8 gelte als $M_{Ä}$: $\quad M_{Ä} = k \frac{V+H+R}{C}$

mit C = 2; es gibt nur schwarze und weiße Elemente

k = 3; Anzahl der berücksichtigten Anordnungseigenschaften.

V, H, R wie in Teil (1) Vertikal-, Horizontal- und Rotationssymmetrie.

Anwendung dieser Methode auf die Rasterbilder (vgl. Bild 4-8): Die $M_{ä_i}$ sind im Rastergraphen (vgl. Bild 3) in mb angegeben. Alle Rasterbilder besitzen in der bisherigen Theorie dasselbe mikroästhetische Maß von $M_{ä_1} = 29$ mb. Der neue Ansatz liefert eine wesentlich bessere Spezifizierung und eröffnet wesentliche konstruktive Möglichkeiten im Sinne einer generativen Ästhetik. Die Anordnung und Größe der $M_{ä_i}$ im Rastergraphen lassen zahlreiche Kompositionsmerkmale des ästhetischen Objektes erkennen. Hier lassen sich die verschiedensten Kennzahlen zur Charakteristik solcher Objekte definieren, wie z.B. Maximum von $M_{ä_i}$, Streuung der $M_{ä_i}$, Momente, Schiefe, Anzahl der Null-

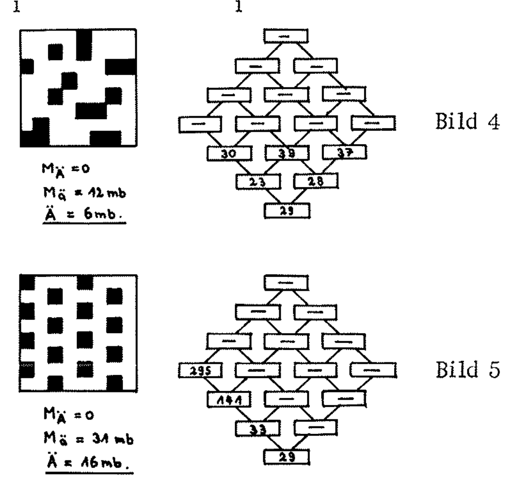
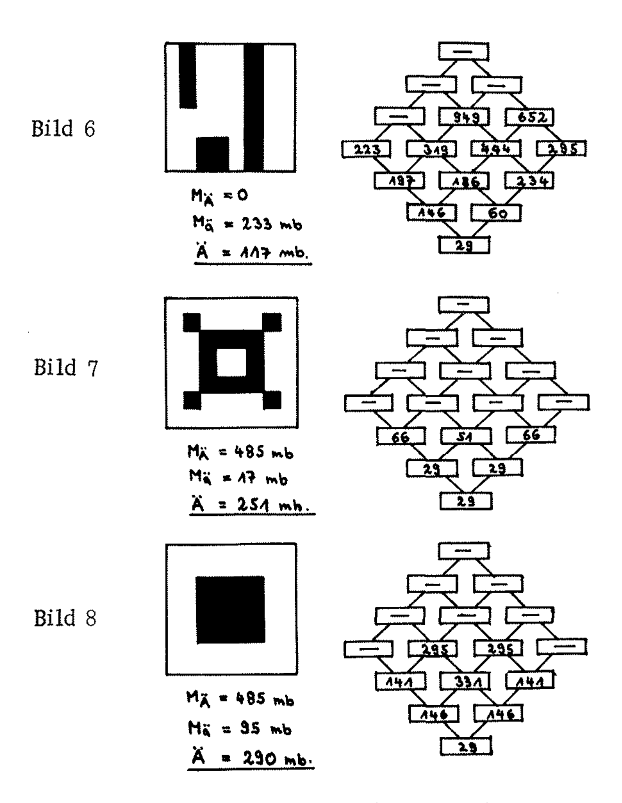


Bild 6

Bild 7

Bild 8



Felder, Vergleich von horizontalem und vertikalem Aufbau, Verhältnis von Mikro- und Makroästhetik etc. Alle diese Eigenschaften können bei der Generation neuer Objekte Verwendung finden.

Schrifttumsverzeichnis

Bense, M.	Aesthetica. Baden-Baden 1965
Bense, M.	Theorie der Texte. Köln 1962
Birkhoff, G. D.	Aesthetic Measure, Cambridge (Mass.) 1933
Frank, H.	Grundlagenprobleme der Informationsästhetik und erste Anwendung auf die mime pure. Diss. Stuttgart, 1959
Frank, H.	Über den Informationsgehalt von Bildern. GrKG 8/1, 1967, S. 23-31
Gunzenhäuser, R.	Ästhetisches Maß und ästhetische Information. Quickborn, 1962

Eingegangen am 15. Juli 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Siegfried Maser, wiss. Ass. am Lehrstuhl für Philosophie der TH Stuttgart, Friedrichstraße 10/8

KAUSALITÄT UND FREIHEIT ZUR ENTSCHEIDUNG

von Hans-Werner Klement, Bad Homburg

Die Beantwortung der Frage, ob Denken und Handeln des Menschen kausal bestimmt sind, oder ob der Mensch sich mittels freien Willens außerhalb des naturgesetzlichen Kausalprozesses stellen kann, wurde mit jedem grundsätzlichen Fortschritt des naturwissenschaftlichen Denkens unter neuen Gesichtspunkten versucht. In dem vorliegenden Aufsatz werden zunächst einige Standpunkte zu dieser Frage beschrieben. Anschließend wird auf einen Gesichtspunkt hingewiesen, der sich aus der kybernetischen Betrachtung des Problems ergibt.

Pasqual Jordan (1939) ging von der Auffassung aus, daß mikrophysikalische Vorgänge eine entscheidende Rolle bei den geistigen und seelischen Prozessen im Organismus spielten. Da diese Vorgänge nach den Gesetzen der Quantenphysik nicht kausal bestimmt seien, so schloß er, könne dies auch für das menschliche Denken und Handeln zutreffen. Diese Argumentation führt jedoch nicht weit, denn erstens ist es eine umstrittene erkenntnistheoretische Frage, ob mikrophysikalische Prozesse wirklich nicht kausal bestimmt sind, oder ob wir aufgrund der sogenannten Unschärferelation nur prinzipiell außer Stande sind, sie als kausal bestimmt zu erkennen. Zweitens aber wissen wir heute, daß sich das menschliche Denken im wesentlichen nicht auf der Ebene der Atome und Moleküle und damit nicht im Bereich der Quantenphysik, sondern auf der Ebene der Nervenzellen abspielt, die aus sehr vielen Atomen bzw. Molekülen bestehen und den Gesetzen der klassischen Physik unterworfen sind (Steinbuch, 1965).

Max Planck (1939 und 1947) hat den Standpunkt vertreten, das Kausalitätsprinzip sei auch im Bereich der Mikrophysik wirksam, dort eben nur prinzipiell nicht zu erkennen, und objektiv seien auch menschliches Denken und Handeln kausal bestimmt. Als tief religiöser Mensch war er durch diese Erkenntnis nicht befriedigt und stellte neben die objektive Kausalität des Denkens und Handelns die subjektive - gefühlte - Willensfreiheit des Menschen. Nach seiner Auffassung gibt es neben dem objektiv-wissenschaftlichen Standpunkt mit gleicher Berechtigung den subjektiv-persönlichen, von dem aus die Freiheit des Willens zu bejahen sei. Der von Max Planck vertretene Standpunkt ist insofern bedeutsam, als er die Vereinbarkeit von Kausalität und Freiheit beinhaltet. Diese wird aber bei Planck nur möglich durch eine Relativierung des Problems, die uns nicht weiter bringen kann, wenn wir die Frage der Willensfreiheit unter objektiv-wissenschaftlichen Gesichtspunkten untersuchen wollen.

Eine weiterreichende Bemerkung zu diesem Fragenkomplex hat Bernhard Bavink (1944) gemacht. Er weist darauf hin, daß nur der Mensch bewußtermaßen im

Besitz des sogenannten Kausalgesetzes ist, und daß zugleich gerade der Mensch sich als "frei" empfindet. Bavink zieht daraus den Schluß, daß Freiheitsgefühl und Kausalbedürfnis nur zwei Seiten ein und desselben Sachverhaltes seien.

Ein ähnlicher Gesichtspunkt ergibt sich, wenn man die Frage nach der Willensfreiheit als Frage nach der Freiheit der menschlichen Entscheidung auffaßt. Jede Entscheidung setzt Information voraus über die Situation, in der zu entscheiden ist, über die Alternativen, zwischen denen zu entscheiden ist, und über deren Konsequenzen. Daneben muß Information in Form von Entscheidungsmaximen vorhanden sein, da ohne solche Maxime der Begriff der Entscheidung seinen Sinn verliert. Der Inhalt jeder Entscheidung ist somit kausal durch Information bestimmt, womit die ebenfalls kausale Wirkung von trieb- oder gefühlsbedingten Entscheidungskomponenten selbstverständlich nicht ausgeschlossen sein soll.

Es muß aber nun unterschieden werden zwischen dem durch Information kausal bestimmten Inhalt der Entscheidung und der Tatsache, daß das betreffende Subjekt die Freiheit besitzt, Entscheidungen zu treffen. Der Begriff der Entscheidung hat eine inhaltliche (materielle) und eine formelle Seite. Die Freiheit, Entscheidungen zu treffen, steht nicht im Gegensatz zur kausalen Bestimmtheit des Inhaltes der Entscheidungen; Freiheit und kausale Bestimmtheit sind nur zwei Seiten ein und desselben Entscheidungsprozesses.

Der Grad der Freiheit eines Lebewesens ist demnach durch die Ebene der Information gegeben, auf der es Entscheidungen treffen und sich damit frei von unveränderlichen Verhaltensweisen wie Reflexen und Instinkthandlungen machen kann. Zugleich aber ist der Inhalt seiner Entscheidungen durch für diese Ebene spezifische Informationsprozesse kausal bestimmt. Der Mensch steht auf der höchsten der uns bekannten Ebenen der Information, er besitzt den höchsten Grad der Freiheit unter den uns bekannten Lebewesen. Der Inhalt seiner Entscheidungen ist kausal bestimmt durch Informationsprozesse auf der Ebene der begrifflichen Sprache, des menschlichen Geistes, die für andere Lebewesen keine Kausalwirkung besitzen.

Schrifttumsverzeichnis

Bavink, Bernhard	Ergebnisse und Probleme der Naturwissenschaften, 8. Auflage, Verlag von S. Hirzel, Leipzig 1944, Seite 615.
Jordan, Pasqual	Die Physik des 20. Jahrhunderts, Verlag Vieweg & Sohn, Braunschweig 1939, S. 126.

P l a n c k, Max — Vom Wesen der Willensfreiheit. Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1939 (nach einem Vortrag am 27. November 1936).

P l a n c k, Max — Scheinprobleme der Wissenschaft. Vortrag gehalten in Göttingen am 17. Juni 1946, Johann Ambrosius Barth Verlag, Leipzig 1947.

S t e i n b u c h, Karl — Automat und Mensch. 3. Auflage, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1965, Seite 23.

Eingegangen am 28. Januar 1967

Anschrift des Verfassers:
Dr. Hans-Werner Klement, 638 Bad Homburg, Theodor-Storm-Str. 27

ÜBER RÜCKKOPPELUNGSMÖGLICHKEITEN BEI RÜCKWIRKUNGSFREIEN SYSTEMEN DER DIDAKTISCHEN DATENFERNÜBERTRAGUNG

von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

Das Vorhandensein einer Rückkoppelung vom Adressaten zum Lehrsystem unterscheidet die Lehrsituation der Lernregelung von jener der bloßen Lernsteuerung (Frank, 1967, S. 171) und gilt als eine Rationalisierungsmaßnahme (Frank und Kistner, 1965, Bild 1). Der Rationalisierungseffekt wird im allgemeinen in der hierdurch ermöglichten Adaptivität des Lehrsystems gesehen, durch welche der Lernerfolg verbessert bzw. die Lernzeit verkürzt werden kann. Als zusätzlicher Vorteil, dem manchmal noch mehr Bedeutung zuzumessen ist, ist die Eigenaktivität zu nennen, welche durch die Rückkoppelung veranlaßt wird und die Aufmerksamkeit des Adressaten bewahrt.

Die augenblicklich üblichen Medien der didaktischen Datenfernübertragung, nämlich Rundfunk und Fernsehen (Schulfunk, Funkuniversität, Bildungsfernsehen), kennen keine unverzügliche Rückmeldung. Die Möglichkeit des Adressaten, sich mit Fragen oder Lösungen schriftlich an den Sender zu wenden, gehört nicht hierher. Da die Sendung selten direkt sondern meist aus Konserven erfolgt, kann auch ein Fernsprechverkehr vom Adressaten zum Sender während der laufenden Lektion nicht als unverzügliche Rückmeldung gelten.

Der einfachste Fall einer Rückkoppelung liegt vor, wenn sich die Adressatenreaktion weder auf die Bestimmung des nächsten Lehrquants noch auf den Zeitpunkt seines Auftretens auswirkt, sondern lediglich auf Art und Zeitpunkt des Urteils. Diese Lösung wurde bei der einfachen Lehrmaschine "Robbimat" für Pa-

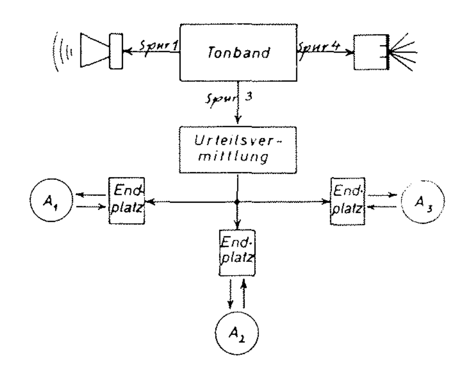


Bild 1: Prinzip von Robbimat

rallelschulung gewählt (Frank und Kistner, 1965) und seither hinsichtlich ihrer hochschuldidaktischen Eignung vielfach geprüft (Closhen und Frank, 1967). Das Prinzip ist in Bild 1 dargestellt. Eine kreisrelationale Verknüpfung besteht nur zwischen jedem einzelnen Adressaten A_i und seinem Endplatz: dort gibt er seine Antworten durch Tastendruck ab und erfährt sofort durch ein passendes Signal (grünes oder rotes Licht) die Beurteilung. Dies ist ohne Rückwirkung zu den Zentraleinheiten dadurch möglich, daß die Einheit zur Urteilsvermittlung nach jedem Lehrschritt an den Endplatz den Beurteilungsschlüssel liefert (Ja ≙ richtig, Nein ≙ falsch; bzw. umgekehrt). Dies geschieht beim Robbimat in einfachster Weise durch Übertragung eines Signals b (Gleichspannung) über eine von zwei Kanälen (1 - 2 oder 1 - 3 in Bild 2), so daß der Endplatz die Beurteilung übernimmt.

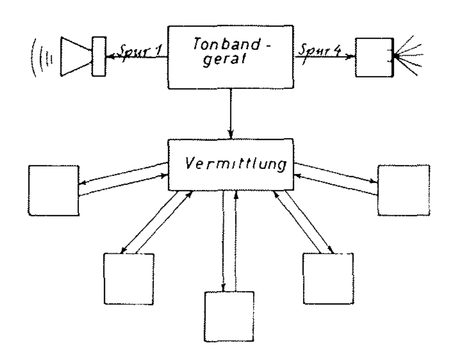


Bild 2: Urteilsvermittlung bei Robbimat

Das in Bild 1 dargestellte Prinzip kann unschwer auch im Rahmen der erwähnten didaktischen Datenfernübertragungssysteme realisiert werden, sofern jeweils ein geeigneter Endplatz geschaffen wird, welcher Signale aufnehmen kann, die dem Adressaten nicht unmittelbar zugänglich sind.

Im Falle des Bildungsfernsehens genügt es, die Bildfläche einzuschränken und am Rand Lichtsignale zu übertragen, welche die gewünschte ("richtige") Adressatenantwort signalisieren (Bild 3). Am Fernsehschirm ist dann sofort erkennbar, ob (im gezeichneten Beispiel) die Antwort "Ja" lauten muß (falls nämlich das Licht links oben im Bildschirm aufleuchtet) oder "nein". Man gewinnt nun einen Endplatz gemäß Bild 1, wenn man vor den Fernsehschirm eine Maske setzt, die nur die reduzierte Bildfläche freigibt, jedoch mit Photoelementen besetzt ist an den Stellen am Rande, an denen die Antwortanzeige (die Urteilsvermittlung) erfolgt.

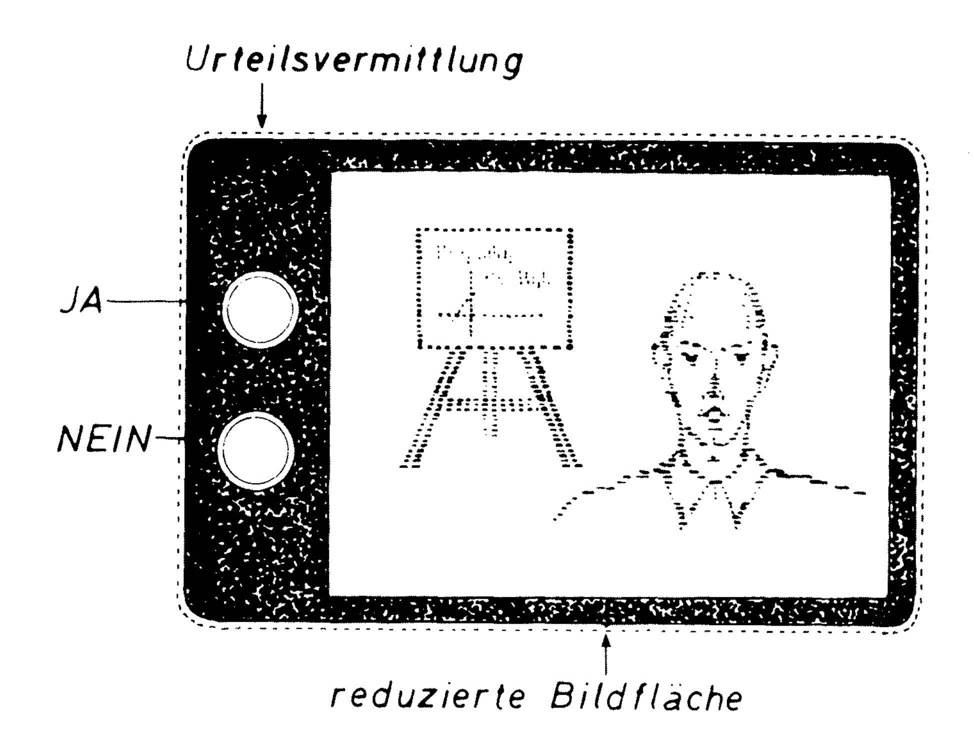


Bild 3: Telerobbimat

Durch eine einfache logische Schaltung können von hier aus dieselben Endplätze gespeist werden, die beim Robbimat verwendet werden. Da an denselben Fernsehempfänger mehrere Endplätze anschließbar sind, die sich wechselseitig nicht beeinträchtigen, und da der Sender dieses "Telerobbimat"-Systems von einer Vielzahl von Fernsehteilnehmern empfangen werden kann, liegt hier ein sehr preisgünstiges didaktisches Datenfernübertragungssystem vor, dessen Wirksamkeit sich zu der des üblichen Bildungsfernsehens etwa so verhält wie die Wirksamkeit einer bloßen Tonbildschau zur Wirksamkeit des Robbimat. - Selbstverständlich kann die Urteilsvermittlung in Bild 3 auch für mehr als zwei Antworten ausgelegt werden, so daß dieses Verfahren erweiterbar ist.

Während dieses System ohne Eingriff in den handelsüblichen Fernsehempfänger realisierbar ist, müßte bei einer analogen Erweiterung des normalen Rundfunksystems mehr technischer Aufwand getrieben werden. Es müßte nämlich dafür gesorgt werden, daß der Lautsprecher bestimmte Frequenzen n i c h t überträgt, welche für die Urteilsvermittlung an die Endplätze abgezweigt werden.

Schrifttumsverzeichnis

Closhen, H.
Frank, H. — Programmierung einer kybernetischen Grundvorlesung als Versuch zur Hochschuldidaktik.
In: Praxis und Perspektiven des Programmierten Unterrichts, Band II, 1967, Verlag Schnelle

Frank, H.
Kistner, R. — Eine Tonbildanlage mit Rückkoppelungseinheit
In: Praxis und Perspektiven des Programmierten Unterrichts, 1965, Verlag Schnelle

Frank, H. — Automatentheoretische Ansätze in der kybernetischen Pädagogik
In: Händler, Peschl und Unger (Hsg.): 3. Colloquium über Automatentheorie
Birkhäuser, Basel und Stuttgart, 1967

Eingegangen am 28. Oktober 1967

Anschrift des Verfassers:
Prof. Dr. Helmar Frank, 1 Berlin 33, Altensteinstr. 39

TEXTCHARAKTERISTIKEN DER 'LETTRES PORTUGAISES' UND EINIGER WERKE GUILLERAGUES'

von Joachim Thiele, Uetersen

1669 erschien in Paris eine anonyme Veröffentlichung mit dem Titel "Lettres portugaises, traduites en français. A Paris, chez Claude Barbin... MDCLXIX. Avec Privilège du Roy." Diese angeblich von einer portugiesischen Nonne verfaßten Briefe erregten Aufsehen und die Frage nach dem Autor hat die Forschung sehr häufig beschäftigt (vgl. den Bericht von W. Leiner, 1962); nach den Untersuchungen der Herausgeber der jüngsten Auflage der 'Lettres portugaises' (Guilleragues; F. Deloffre und J. Rougeot, 1962) stammen diese mit großer Wahrscheinlichkeit von Gabriel Joseph de Lavergne, Comte de Guilleragues.

Dieses Ergebnis wird durch den Vergleich der Textcharakteristikenwerte $\bar{i}$ und $\bar{r}$ (mittlere Silbenzahl pro Wort, mittlere Länge der Ketten aus gleichsilbigen Wörtern) der 'Lettres' mit denen der Berichte Guilleragues' über seine diplomatische Tätigkeit (der Gattung nach den Briefen verwandten Texten) bestätigt.

		N	$\bar{i}$	$\bar{r}$
Lettres portugaises (1669)				
1	65 - 70,22[+)]	824	1,52	1,68
2	95 - 97,20	358	1,65	1,62
3	107 - 110,1	399	1,52	1,70
4	125,4 - 128,5	446	1,55	1,58
5	131,15 - 134	375	1,49	1,64
	+) Seite, Zeile der Ausgabe von M. Fauchier Delavigne [5]		1,54 ±0,05	1,65 ±0,05 [o)]

o) Mittelwert; innerhalb des angegebenen Intervalls liegen jeweils ~80 % der Werte

N = Anzahl der Wörter des Textabschnitts,

			N	$\bar{i}$	$\bar{r}$
Guilleragues, Relation... (1682) [2]					
1	1	- 3	380	1,52	1,57
2	33,1	- 35,20	380	1,62	1,51
3	61,1	- 63,21	381	1,59	1,51
4	84,13	- 87,6	379	1,55	1,69
				1,57	1,57
				±0,05	±0,06 o)
Guilleragues, Substance... (1683) [3]					
1	1	- 3,23	414	1,56	1,61
2	51,19	- 53,25	417	1,49	1,57
3	72,30	- 74,18	346	1,49	1,69
4	94,19	- 98,12	752	1,50	1,65
5	106,28	-109	419	1,54	1,61
				1,51	1,63
				± 0,05	± 0,06 o)
Guilleragues, Ambassades... (1687) [4]					
1	1	- 7,15	521	1,55	1,67
2	8,14	- 15,4	549	1,53	1,69
3	25,2	- 31	509	1,61	1,58
4	154,5	-160,15	540	1,59	1,62
5	169,12	-176,8	546	1,58	1,58
				1,57	1,63
				± 0,04	± 0,05 o)
Guilleragues, Brief an Racine (1684)					
	175	-179	827	1,60	1,58
	Seiten der Ausgabe Deloffre/Rougeot [1]				

Schrifttumsverzeichnis

[1] Guilleragues, [Gabriel Joseph de Lavergne] — Lettres Portugaises, Valentins, et autres oeuvres. Éd. par F. Deloffre et J. Rougeot. Paris 1962

[2] Relation veritable de ce qui s'est passé a Constantinople avec monsieur de Guilleragues, ambassadeur de France... A Chio, chez Pierre de Touche 1682

[3] Substance d'une Lettre Ecrite par un Officier du grand Vizir à un Pacha, Touchant l'expedition de Monsr. du Quesne a Chio, & la negotation de Monsr. de Guilleragues... A Ville Franche, chez Pierre de Marteau 1683

[4] Ambassades de M. le Comte de Guilleragues et de M. Girardin... A Paris, chez G. de Luines 1687

[5] Fauchier Delavigne, Marcelle — Visite à la Religieuse portugaise, suivi des Lettres [portugaises] de la Religieuse. Paris 1961

Leiner, W. — Les 'Lettres portugaises' démystifiées. In: Zeitschrift für Französische Sprache und Literatur, Wiesbaden, Bd. 72, 1962, S. 129-135.

Eingegangen am 17. August 1967

Anschrift des Verfassers:

Dr. Dr. Joachim Thiele, 2082 Uetersen, Herderstr. 1

ANWENDUNG DER KYBERNETIK IN DER ERNÄHRUNGSWISSENSCHAFT

von Adel el Missiri, Gießen
(Gewidmet Herrn Prof. Martin Hengst zu seinem 60. Geburtstag)

Einleitung:

Die Lehre der Ernährung des Menschen in ihrer heutigen Form zählt zu den jungen Wissenschaften. Sie besteht aus mehreren Spezialgebieten der Biologie (Ernährungsbiologie), der Technologie (Lebensmitteltechnologie) und der Ökonomie (Ernährungswirtschaft). Die genannten Gebiete haben das Ziel, eine quantitativ und qualitativ optimale Nahrung jedem Menschen zur Verfügung zu stellen.

Ein Gebiet der Ernährungsbiologie: die Ernährungsphysiologie beschäftigt sich mit Hilfe von Tierexperimenten und klinischen Beobachtungen mit der Ermittlung von Daten über die optimale Nahrungsmenge und deren Zusammensetzung, also mit der Ermittlung des Soll-Wertes.
Der Lebensmitteltechnologie obliegt die Beobachtung und Optimierung der Prozesse, die von der Gewinnung der Rohstoffe bis zu ihrer Fertigstellung in Form von Speisen stattfinden - also Lagerung, Be- und Verarbeitung etc. Die Ernährungswirtschaft stellt aufgrund der vorhandenen Möglichkeiten (Bodenverhältnisse, Viehbestand usw.) bestimmte Pläne auf und untersucht Maßnahmen der Durchführung zur Deckung des Nahrungsbedarfs.

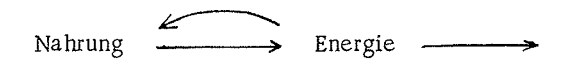
Diese drei Gebiete bedienen sich der Kybernetik (kybernetischer Methoden und kybernetischer Maschinen).

1. Anwendung kybernetischer Methoden und kybernetischer Maschinen in der Ernährungswissenschaft:

1.1 In der Ernährungsbiologie:

Kybernetische Methoden können besonders in der Ernährungsbiologie angewandt werden, weil "der Mensch als ein äußerst kompliziertes System von Informationen... beschrieben werden kann und die Beschreibung ein systematisches Eingreifen bei krankhaften Veränderungen der Koordinations- und Rückkoppelungsmechanismen ermöglicht" (von Cube, 1967, S. 47). Auch ist mit Hilfe der Kybernetik jeder einzelne biophysikalische und biochemische Vorgang (Beispiele: Muskelkontraktion, Synthese von Salzsäure im Magen) mathematisch beschreibbar und wird auch vielfach zur Erfassung von Gesetzmäßigkeiten und damit zu seinem wissenschaftlichen Verständnis mathematisch formuliert (Hassenstein, 1965).

Ein Erfolg der Kybernetik besteht darin, komplexe Prozesse bei Organismen aller Art, z.B. bei der Aufspaltung und Verbrennung der Nährstoffe im Organismus, mathematisch so abzubilden, daß deren Verhalten unter beliebigen Umständen voraussagbar wird. Dabei ist es grundsätzlich möglich, die Struktur mit technischen Mitteln nachzumachen und sich davon zu überzeugen, daß sie in dieser Form dasselbe "leistet". So wird im technischen Experiment erwartet, daß bei der Verbrennung einer bestimmten Nahrungsmenge eine Energiemenge erzeugt wird, die der Energiezufuhr dieser Nahrungsmenge im Organismus gleicht (in kcal gemessen). Die freiwerdende Energie dient der Aufrechterhaltung der Lebensfunktionen. Dabei verbraucht der Mensch einen Teil der Nahrungsenergie als Muskel- und Geistesarbeit für die Gewinnung seiner Nahrung:



Zur Ermittlung von Daten über den Nahrungsbedarf des Menschen geht die Ernährungsphysiologie aus von dem Gesetz von der Erhaltung der Energie, dem Massenwirkungsgesetz, der Temperaturregelung und dem Entropiesatz, also von Grundgesetzen, die bei der Kybernetik eine bedeutende Rolle spielen. Die in der Ernährungsbiologie gebrauchten medizinisch-kybernetischen Geräte, z.B. Meßgeräte und Miniaturgeräte, haben sich als zweckmäßig erwiesen. Beachtenswert sind die Untersuchungen der Ernährungsbiologen über die Auswirkungen der in der Nahrung enthaltenen Nährstoffe auf das Verhalten des Organismus. Für die Kybernetik dürfte die Feststellung von Kraut (1959) interessant sein, nach der das Gehirn zu den Organen gehört, die bei Eiweißmangel am meisten leiden, was zu einer Schwächung der Nachrichtenverarbeitung beim Menschen führt. Auch bei extremer Unterernährung ist der Mensch nicht in der Lage, Informationen aufzunehmen und zu verarbeiten, er zeigt Gedächtnisschwund.

1.2. In der Lebensmitteltechnologie :

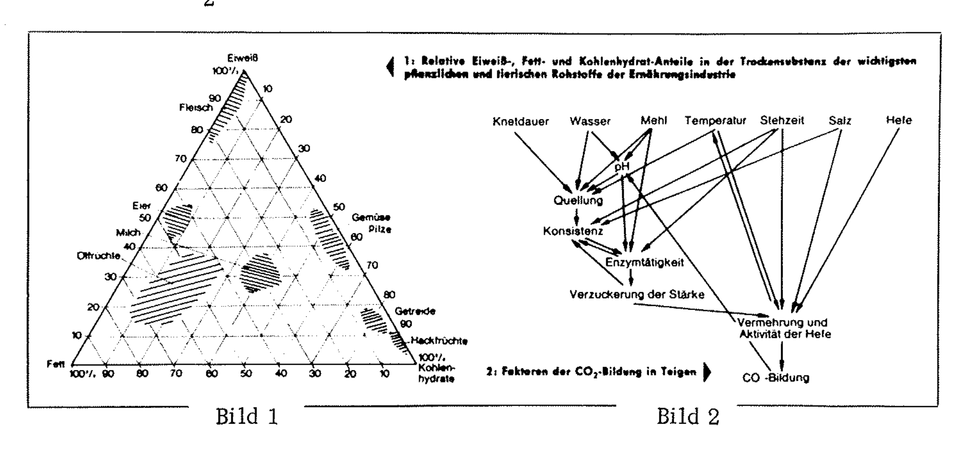
Die Ernährungsindustrie gebraucht heute kybernetische Methoden und kybernetische Maschinen in großem Umfange. In diesem Zusammenhang schreibt M. Hengst (1966): "Mehrere Gründe zwingen die Ernährungsindustrie, ihre Verfahren zu automatisieren. Sie muß heute mehr denn je den Aufwand an Arbeitskräften verkleinern, den Ausschußsatz senken, vor allem aber gleichmäßige physiologische Qualität erzeugen. Diesen Zielen stellen sich gerade in der Lebensmittelindustrie erhebliche Hindernisse entgegen: die Schwankungen der Rohstoffe und die Eigentümlichkeiten der Fabrikationsverfahren, die meistens dem Handwerk entstammen, also mehr oder weniger zufällig durch jahrhundertlanges Probieren gewonnen wurden und daher durchaus nicht immer optimal verlaufen. Nun kann

aber ein falsch geführter technologischer Prozeß den besten Rohstoff verderben, umgekehrt lassen sich aber auch Mängel des Rohmaterials durch eine geeignete Verfahrenstechnik bis zu einem gewissen Grade ausgleichen. Rohstoff und Verarbeitungsprozeß müssen also sorgfältig aufeinander abgestimmt werden. Im einzelnen bedeutet das eine Vielzahl von Regelungen, sei es der Drehzahl und Arbeitsgeschwindigkeit, des Materialflusses, der Temperaturen, Drücke, Einwaagen und Schaltzeiten, mit speziellen Anforderungen an Getriebe und Antriebselemente.

Die besonderen Schwierigkeiten, denen sich der Verfahrenstechniker gegenübersieht, seien hier durch drei kurze Hinweise charakterisiert:

a) Rohstoffe der Ernährungsindustrie unterscheiden sich in den Hauptbestandteilen ihrer Trockensubstanz erheblich. Das wird in dem Dreiecksdiagramm (Bild 1) deutlich, das neben dem Eiweiß-, Fett- und Kohlenhydratgehalt der verschiedenen Rohstoffgruppen auch die Streufelder dieser Bestandteile zeigt.

b) Rohstoffe und Zwischenprodukte der Ernährungsindustrie sind außerordentlich komplexe kybernetische Systeme, die auf alle äußeren Einflüsse in komplizierter Weise reagieren. Als Beispiel solcher Teilungsprozesse, die selbst wieder als kybernetische Systeme mit mehreren Rückkoppelungsschleifen zu verstehen sind, sei hier die CO_2-Bildung genannt (Bild 2).



1: Relative Eiweiß-, Fett- und Kohlenhydrat-Anteile in der Trockensubstanz der wichtigsten pflanzlichen und tierischen Rohstoffe der Ernährungsindustrie

2: Faktoren der CO_2-Bildung in Teigen

Bild 1 Bild 2

c) Die Schwankung der Rohstoffqualitäten wie auch der physiko-chemischen und biologischen Prozesse der Lebensmittelindustrie beruht nicht auf einer Ursache, sondern auf dem Zusammenwirken vieler, im einzelnen scheinbar geringfügiger Betriebsumstände. Das zeigt die Tabelle (Bild 3), welche die Zusammenhänge einiger Fehler von Gemüsekonserven mit ihren Ursachen ausschnittsweise darstellt. Am Kopf der Tabelle sind Fehler, am linken Rand einige mögliche Ursachen aufgeführt, die nach den einzelnen Verarbeitungsstufen, also dem Ort

ihrer Entstehung, geordnet worden sind. Man erkennt, daß ein Fehler auf verschiedene Einflußgrößen, die getrennt oder gemeinsam wirken, beruhen, und daß umgekehrt eine einzige Ursache unterschiedliche Fehler hervorrufen kann.

1	2	3	4 Bombage	5 Vertrocknung	6 Entmischung	7 Fleckigkeit	8 Dosen-beschädigung
	Dosenmaterial	1	///				///
Vor-wärmung	Dauer: zu kurz	2	XXX				
	Temperatur: zu niedrig	3	///				
Konservierung	Dauer: zu kurz	4	XXX				
	Dauer: zu lang	5				///	
	Temp: zu niedrig	6	///				
	Temp: zu hoch	7				///	///
	Medium nicht bewegt	8	///	///		///	
	Dosen nicht bewegt	9			///	///	
	Abkühlung zu langsam	10	///				

Bild 3

3: Ausschnitt aus einer Fehler-Ursachen-Tabelle für Gemüsekonserven

Die kybernetischen Maschinen haben sich auch in der Lebensmittelindustrie als sehr wertvoll gezeigt. So werden für Zwecke der Lagerung, Be- und Verarbeitung und Konservierung von Lebensmitteln zahlreiche kybernetische Maschinen verwendet (z.B. automatische Kühlanlagen, automatische Kücheneinrichtungen und -geräte, automatische Herstellungsmaschinen etc.).

Auch hat die Automation in den Großküchen der Industriebetriebe, der Krankenanstalten etc. zur Verbesserung der küchen-hygienischen Bedingungen und der Speisequalität geführt. Wegen der genauen Einhaltung der Küchenrezepte durch die Maschinen werden vermeidbare Verluste an wichtigen Nährstoffen, etwa Vitaminen, ausgeschlossen. Die Automation in der Lebensmittelindustrie leistet einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Nahrungsmittelproduktion, was für die Verbesserung der Welternährungslage von größter Bedeutung ist. Auch die Produktionsbetriebe der Nahrungs-Rohstoffe (landwirtschaftliche Betriebe und Züchtungsbetriebe) können heute die kybernetischen Maschinen nicht entbehren. So ist eine Optimierung der Milchhygiene dank der kybernetischen Maschinen festzustellen: "... Nachdem die Trinkmilch automatisch die Reinigungszentrifugen passiert hat, erfolgt die Einstellung des Fettgehaltes, die Pasteurisierung und Abkühlung auf 3^{0} bis 4^{0} C" ... (Wirth, 1965).

1.3. In der Ernährungswirtschaft:

Mit Hilfe der Kybernetik wird eine Großzahl der Daten verarbeitet, die die Ernährungswirtschaft benötigt, um die Ist-Ernährung pro Kopf und Tag zu ermitteln. Dafür werden Rechenanlagen mit großer Speicherkapazität verwendet.

2. Ein Beispiel für die Anwendung kybernetischer Denkweisen als Beurteilungs- und Entscheidungshilfe in der Welternährungswirtschaft:

2.1. Problemstellung:

Auf Welternährungskongressen und anderen wissenschaftlichen Tagungen der letzten Jahrzehnte wurde immer wieder festgestellt, daß einer überernährten Bevölkerung in den sogenannten Wohlstandsländern eine unterernährte Bevölkerung in den sogenannten Entwicklungsländern gegenübersteht.

Die alarmierenden Feststellungen machen es notwendig, möglichst exakte Daten über die Welternährungslage zusammenzustellen und mit Hilfe geeigneter statistischer Methoden überschaubar zu machen, und damit Beurteilungs- und Entscheidungshilfen für viele Fragen der Welternährung zu gewinnen. Mit Hilfe der von der "Food and Agriculture Organization of the United Nations" errechneten Daten über den täglichen Prokopf-Verbrauch an Kalorien für 93 Staaten wollen wir prüfen, ob und inwieweit die Ernährung eines Volkes optimal ist.

Zu diesem Zweck können wir aufgrund der Empfehlungen der Ernährungsphysiologen für den "Soll-Verbrauch" an Kalorien einen Schwankungsbereich festlegen, dessen Grenzen durch den niedrigsten und höchsten empfohlenen Wert bestimmt werden. Wir berücksichtigen hierbei, daß biologische und physiologische Normen keine Konstanten sind, sondern statistische Größen, die um eine Mittellage pendeln und daher einen bestimmten Bereich - eben den Normbereich - bedecken (Hengst, 1952). Diesen Schwankungsbereich bezeichnen wir als "Sollbereich" oder "Normbereich". Die im Normbereich liegenden Werte nennen wir "Soll-Werte".

2.2. Methodik:

Um die Vielzahl der empirischen Daten sinnvoll miteinander vergleichen und somit die Welternährungslage beurteilen zu können, empfiehlt es sich, die sogenannten Summenverteilungen zu bilden. Die Summenlinien geben uns Maßstäbe in die Hand, mit denen wir die Einzelwerte in ein Ganzes einordnen, mit ihm vergleichen und unter Berücksichtigung des Normbereichs sinnvoll bilanzieren können (vgl. Hengst, 1967).

Als andere mögliche Darstellungsform kann man statt eines kartesischen Netzes auch einen Kreis benutzen, wobei der Radius die Funktion der Abszisse im kartesischen Netz hat und beliebig eingeteilt werden kann. Der Kreiswinkel von 360° entspricht der Ordinate im kartesischen Netz und ist gleich der Summe, also gleich 1 bzw. 100 %. So sind in Bild 4 93 Staaten, deren Bevölkerung über 94 % der Erdbevölkerung ausmacht, nach der verbrauchten Kalorienmenge in absteigender Folge dargestellt. Der Kreiswinkel 360° ist der Gesamterdbe-

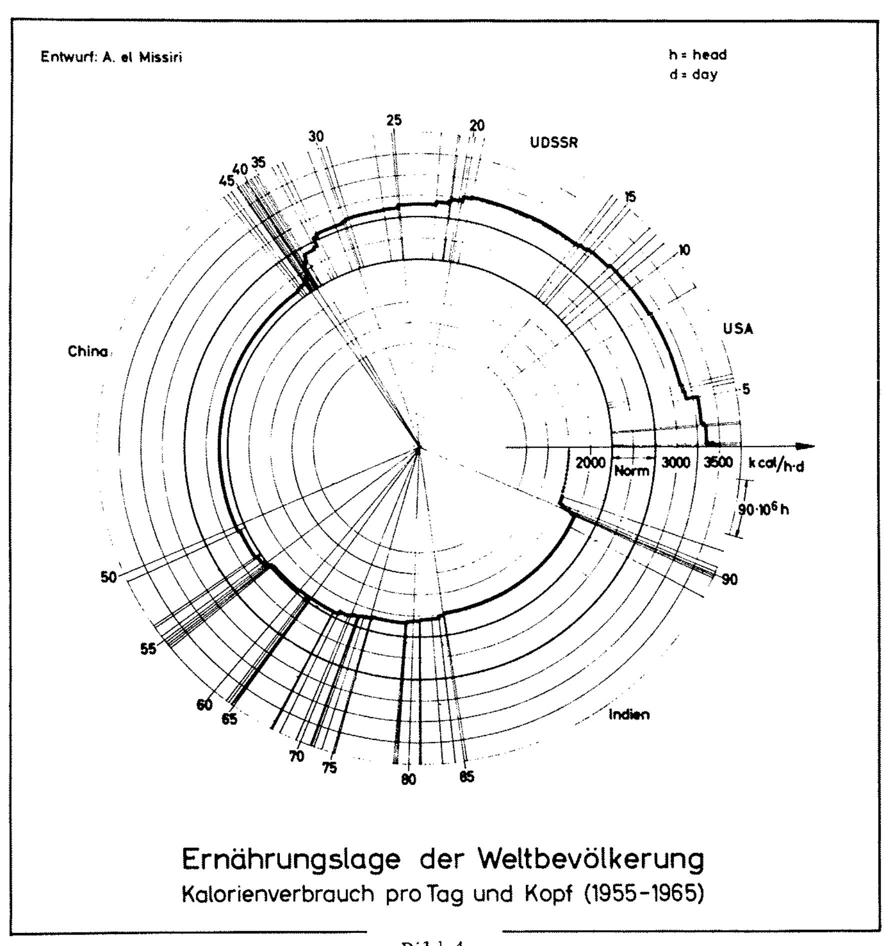


Bild 4

völkerung gleichzusetzen. Damit entspricht $1^{o} \approx 9$ Millionen Menschen. Der Kreiswinkel wurde so eingeteilt, daß jedem Land ein seiner Bevölkerungszahl entsprechender Winkel zugeordnet ist. Der Radius des Kreises soll die Kalorienmenge in jedem Land angeben. So entstehen 94 verschieden große Sektoren. Jeder Sektor entspricht dem Produkt aus der Kalorienmenge und der Bevölkerungszahl des jeweiligen Landes. Das entspricht der gesamten verbrauchten Kalorienmenge pro Tag in dem jeweiligen Land. Der 94. Sektor ist für die Länder bestimmt, deren Verbrauch an Kalorien nicht bekannt ist. Dabei handelt es sich zum größten Teil um asiatische bzw. afrikanische Länder, bei denen eine hochgradige Unterernährung vermutet werden darf.

Auf diese Weise sind sämtliche Ist-Werte für 93 Staaten in einem einzigen Diagramm so dargestellt, daß man sie ablesen und ihr Verhältnis zur Gesamtheit vergleichen kann. Die entstandene "Schnecke" zeigt zum Beispiel nebeneinander die beiden extremen Ist-Werte, für Irland mit 3480 kcal/hd und für Vietnam mit 1760 kcal/hd.

Der eingezeichnete Normbereich ermöglicht einen Vergleich mit den Ist-Werten und es kann dadurch folgendes ermittelt werden:

a) Überschuß oder Mangel an Kalorienverbrauch in den einzelnen Ländern
b) Grad der Abweichung von der Norm
c) Anzahl der Menschen, die in dem jeweiligen Bereich entweder der Norm entsprechen oder oberhalb bzw. unterhalb der Norm liegen
d) Den Weltdurchschnittsverbrauch

2.3. Ergebnis der Untersuchung:

Aus Bild 5 läßt sich folgendes feststellen:

a) Über eine Milliarde Menschen liegen oberhalb der Norm
b) Etwa 900 Millionen liegen innerhalb der Norm
c) Über 1,1 Milliarden Menschen liegen unterhalb der Norm
d) Der Weltdurchschnittsverbrauch an Kalorien beträgt 2340 kcal.

Die Untersuchung hat ein Beispiel dafür geliefert, wie Daten durch eine geeignete Darstellungsmethode einen Überblick über die Lage einer Gesamtheit (hier der Erdbevölkerung) verschaffen können und damit als geeignete Beurteilungs- und Entscheidungshilfe bei der Aufstellung von Steuerungsplänen, die eine Annäherung an den Soll-Wert anstreben, dienen können.

Schrifttumsverzeichnis

Hassenstein, B.	Biologische Kybernetik. Heidelberg 1965
Hengst, Martin	Antriebstechnik, Jg. 5, Heft 5, S. 159, 1966
Hengst, Martin	Die Pharmazie, Bd. 11, S. 705, 1952
Hengst, Martin	Einführung in die Mathematische Statistik. Mannheim 1967
Kraut, H.	Die Ernährung des gesunden und kranken Menschen. Wiesbaden-Berlin, 1959
von Cube, Felix	Was ist Kybernetik. Bremen 1967
Wirth, W.	Veränderungen der Arbeitsbedingungen aus arbeits- und ernährungsphysiologischer Sicht. Ernährungs-Umschau, 12. Jg., 1965

Eingegangen am 10. November 1967

Anschrift des Verfassers:
Studienreferendar Adel el Missiri, c/o Institut für Ernährungswissenschaft der Justus-Liebig-Universität Gießen, Wilhelmstr. 20

KYBERNETISCHE BUCHVERÖFFENTLICHUNGEN 1967

besprochen von Helmar Frank (Waiblingen), Berlin

Die Zahl der Neuerscheinungen auf kybernetischem Gebiet ist so stark angeschwollen, daß auch bei Beschränkung auf das deutschsprachige Schrifttum nur noch an eine Auswahl zu denken ist; diese Auswahl erfolgt nicht nach qualitativen Gesichtspunkten, sondern im Hinblick auf die Relevanz für die Thematik unserer Zeitschrift.

Aus dem Bereich der allgemeinen Kybernetik ist als erstes die von Rudolf Herschel besorgte Übersetzung von Aisermann, Gussew, Rosonoer, Smirnowa und Tal: "Logik - Automaten - Algorithmen" zu nennen (Oldenbourg, München). Es handelt sich um ein ausgezeichnetes Lehrbuch, das vom Aussagenkalkül über die abstrakten Automaten bis zur Theorie der Algorithmen und der Turing-Maschinen reicht. Demgegenüber ist der von Händler, Peschl und Unger herausgegebene Sammelband über das "3. Colloquium über Automatentheorie" (Birkhäuser, Basel und Stuttgart) naturgemäß eine, relativ wenig Zusammenhänge aufweisende Zusammenstellung von 25 Einzelbeiträgen, die überwiegend neuere Ergebnisse über diverse Spezialfragen enthalten. So erfreulich diese Vielfalt ist, so muß doch andererseits bedauert werden, daß viele der Autoren ihre Terminologie bereits als bekannt voraussetzen, so daß allgemeine automatentheoretische Vorkenntnisse nur zur Lektüre des kleineren Teils der Beiträge ausreichen. - "Meyers Handbuch über die Mathematik" (Bibliographisches Institut Mannheim), das H. Meschkowski in Zusammenarbeit mit D. Laugwitz herausbrachte, bietet in einem stark hundertseitigen Paragraphen des Kapitels über praktische Mathematik eine leicht lesbare Einführung in die Prinzipien der (digitalen) Rechner. - Sehr viel allgemeiner sucht H. Anschütz ("Kybernetik - kurz und bündig"; Vogel-Verlag, Würzburg) einzuführen. In der graphischen Gestaltung ist dieses Buch vorbildlich. Auch die Textgestaltung ist für eine Anfängerlektüre (etwa Abitursniveau) großenteils gut gelungen, wenn auch einige sachliche Flüchtigkeiten überraschen: es gibt (im Gegensatz zu S. 9) kein Buch von Ampère, das im Titel das Wort "Cybernétique" enthält; nicht jeder Moore-Automat mit eindeutiger (gemeint war S. 101: eineindeutiger) Markierungsfunktion ist ein Medwedew-Automat - um zwei Beispiele zu nennen. - Erwähnt werden kann in diesem Zusammenhang auch die aus den Bedürfnissen des Anwendens geschriebene "Einführung in die Mathematische Statistik und ihre Anwendung" von Martin Hengst (Bibliographisches Institut Mannheim); es enthält insbesondere auch Darstellungen wichtiger zeitsparender graphischer Schätz- und Testverfahren.

Das Gesamtspektrum der Kybernetik wird angesprochen in dem von W. Kroebel herausgegebenen Sammelband "Fortschritte der Kybernetik" (Oldenbourg, München und Wien). Die Spezialisierung der Einzelbeiträge ist hier nicht so weit getrieben, daß schon terminologische Schwierigkeiten das Verständnis unmöglich machen würden. Als Referateband des 3. Kybernetikkongresses kann von diesem Werk ein innerer Zusammenhang der Beiträge nicht erwartet werden. Auch das einführende Buch von Felix von Cube, "Was ist Kybernetik?" (Schünemann, Bremen) spricht alle Bereiche der Kybernetik an. Hier ist eine erstaunlich umfangreiche Menge von Literatur verarbeitet und durch Zitate belegt. Die eigene Betrachtungsweise des Autors wird durch eine vielseitige Textsammlung (über 100 Seiten!) ergänzt. Das Buch ist anregend geschrieben und leicht lesbar. -

Den informationswissenschaftlichen (anthropokybernetischen) Sektor betreffen mehrere Werke, wobei insbesondere die kybernetische Pädagogik weiteren Raum im deutschsprachigen Schrifttum gewinnt. Erstmals ist sie durch ein eigenes Kapitel (Weltner und Strunz) in der vierten Auflage der von K. Strunz herausgegebenen "Pädagogischen Psychologie für Höhere Schulen" (Reinhardt, München und Basel) vertreten. Auch in den Knapptexten der Referate des 5. Symposions über Lehrmaschinen, die der Verlag Schnelle (Quickborn) zum Sammelband "Praxis und Perspektiven des Programmierten Unterrichts Band II" zusammenstellte, nimmt die Kybernetik einen breiten Raum ein; besonders fällt die weitere Interessenverschiebung zum Gebiet der recherunterstützten Lehrerfunktion auf, das in Deutschland durch die neue Problematik der formalen Didaktik weiter gespannt ist als in den USA die "computer assisted instruction". - Durch den Verzicht auf den Kalkül rollt "Die Informationslawine" von Ulrich Bischoff (Econ, Düsseldorf und Wien) an der Kybernetik vorbei. - Auch in Planungstheorie und Betriebswirtschaft ist vorläufig das Interesse an der Kybernetik noch weitgehend auf die Begriffsbildungen beschränkt, die in der Entfaltung von "Begriff und Logik der Planung" (H. Ch. Rieger, im Verlag Otto Harrassowitz, Wiesbaden) zur Anwendung kommen, sowie auch in W. Zawades "Der Wertekreislauf des Betriebes" (Fachverlag GmbH, Baden-Baden). Die "Netzplantechnik" stellt L. Wolff in Form eines Lehrprogrammtextes vor, der ohne andere mathematische Kenntnisse als denen des Addierens und Subtrahierens in 6 - 10 Stunden durchgearbeitet werden kann (Verlagsgesellschaft Rudolf Müller, Köln) - Max Bense faßt seine zeichentheoretische Terminologie zusammen in "Semiotik - Allgemeine Theorie der Zeichen" (Agis, Baden-Baden), wobei er weit über sein Hauptinteressengebiet, die Ästhetik, hinaus auf Anwendungsbereiche verweist. - Eine einfach lesbare, sachlich zutreffende und typographisch hervorragende Einführung in die Informationsästhetik legt H. W. Franke unter dem Titel "Phänomen Kunst" vor (Heinz

Moos Verlag, München). - Erhard Zwirner und Helmut Richter geben unter dem Titel "Gesprochene Sprache - Probleme ihrer strukturalistischen Untersuchung" eine Dokumentation über Kolloquien heraus, die großenteils von der Deutsch-Niederländischen Arbeitsgemeinschaft phonetischer Institute (DNAPI) veranstaltet wurden. - In zweiter Auflage (verbilligte Paperback-Ausgabe) erschien bei Georg Olms (Hildesheim) Helmut Meiers sehr wertvolle "Deutsche Sprachstatistik", Bd. I/II", die ausführlich schon in GrKG 5, 3/4, S. 126-127 besprochen wurde. - "Auf allen Märkten lauthals propagiert" (S. 82) wird Werner S. Nicklis´ Pamphlet "Das Bild des Menschen in der Kybernetik" (Neue Deutsche Schule, Verlagsgesellschaft, Essen). Es polemisiert gegen die "Epigonen" Wieners (wobei Hermann Schmidt S. 11 rühmlich ausgenommen wird), deren "gar nicht oder selten anthropologisch gemeinte" Aussagen "nach reiflicher Überlegung" zur Basis eines "unmittelbar erschließbaren anthropologischen Kontexts" gemacht werden (S. 10). Mit diesen eingestandenermaßen selbstverfertigten Extrapolationen setzt sich Nicklis dann auseinander, ohne sich dabei oder bei den "unmittelbaren Erschließungen" von den Prinzipien logischer Folgerichtigkeit wesentlich einengen zu lassen. So wird (S. 37) - um ein typisches Beispiel zu nennen - das Geständnis von Steinbuch, das Zutreffen eines gewissen Sachverhalts x erscheine ihm als nicht "erwiesen oder auch nur wahrscheinlich", als "apodiktische Leugnung" von x durch den "Dogmatiker" Steinbuch enthüllt! Derartige Kurzschlüsse sowie insbesondere die in der westlichen (auch populär-)wissenschaftlichen Literatur unüblichen persönlichen Ausfälligkeiten machen die Kampfschrift von Nicklis zu einer amüsanten und spannenden Lektüre - zumindest für den Rezensenten, den Nicklis (neben anderen Herausgebern dieser Zeitschrift) mit Fußtritten reichlich beehrt. -

Ch. S. Peirce: DIE FESTIGUNG DER ÜBERZEUGUNG UND ANDERE SCHRIFTEN
Herausgegeben und eingeleitet von E. Walther
Agis-Verlag Baden-Baden 1967, 195 S.

von S. Maser, Stuttgart, besprochen

Die zentralen Probleme der modernen philosophischen Grundlagenforschung liegen in der Ontologie, der Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie. Zur Erkenntnis- und Wissenschaftstheorie hat Peirce, der Begründer des amerikanischen Pragmatismus, wesentliche Beiträge und Resultate geliefert (z.B. zum Problem der Wahrscheinlichkeit, der Methodologie, der Semiotik u.a.m.), die leider noch weitgehend unbekannt oder inzwischen anderen Denkern zugesprochen worden sind. Es ist daher äußerst begrüßenswert, daß hier einige seiner wichtigen Essays in deutscher Übersetzung vorgelegt werden: Sechs wissenschaftstheoretische Essays,

die unter dem Titel "Illustrations of the Logic of Science" in: The Popular Science Monthly, 1877/78, erschienen sind, und einige Briefe an Lady Welby, in welchen er eine kurze Darstellung seiner Semiotik gibt. Ferner enthält der Band eine ausführliche Biographie und Bibliographie (aufgeteilt in zu seinen Lebzeiten publizierten, nach seinem Tod publizierten und unveröffentlichten größeren philosophischen Schriften und Literatur über Peirce) nebst einer Würdigung und Zusammenfassung seiner wesentlichsten Gedanken von E. Walther (Stuttgart).

(1) The Fixation of Belief 1877. - Die Festigung der Überzeugung.
Jeder menschliche Denkprozeß wird angeregt durch Zweifel (Descartes) und abgeschlossen durch eine Überzeugung, welche eine Meinung festlegt: die Funktion des Denkens besteht darin, Überzeugungen hervorzubringen, die zu Denkgewohnheiten führen und dann unser Handeln bestimmen. Der Prozeß, der sich zwischen Zweifel und Überzeugung abspielt, heißt die Untersuchung. Aufgabe einer Untersuchung ist es, eine Meinung festzulegen. Aufgabe einer wissenschaftlichen Untersuchung ist es, eine allgemeingültige Meinung festzulegen, eine Überzeugung allgemein zu festigen. Dabei sind zunächst verschiedene Methoden möglich: Die Methode des Beharrens, die sich prinzipiell gegenüber anderen Meinungen verschließt; die autoritäre Methode, deren Überzeugungskraft durch eine Autorität mitgegeben ist; die apriorische Methode (vgl. Kant) und letztlich die wissenschaftliche Methode, die ausgehend von bekannten, beobachteten Fakten durch logische Schlußweisen zu Unbekanntem fortschreitet. Allein diese letzte Methode ist einer wissenschaftlichen Untersuchung adäquat, da allein hier die Meinung mit den Fakten übereinstimmt.

(2) How to Make Our Ideas Clear 1878. - Wie wir Ideen klar machen.
Um Überzeugungen, Vorstellungen oder Ideen zu kommunizieren, ist Voraussetzung, daß wir dieselben klar haben, d.h. daß ihnen nichts Unklares mehr anhaften darf. Eine Idee von etwas ist aber stets eine Idee von dessen wahrnehmbaren Wirkungen. Die einzigen Wirkungen realer Dinge aber bestehen darin, Überzeugungen hervorzubringen, denn alle Sinneseindrücke, die sie hervorrufen, erscheinen im Bewußtsein als Überzeugungen.

(3) The Doctrine of Chances 1878. - Die Lehre vom Zufall.
Hier werden die Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitstheorie erläutert, wobei letztere als Wissenschaft quantitativ behandelter Logik aufgefaßt wird, d.h. aus gewissen logischen Prämissen folgen mit gewisser Wahrscheinlichkeit gewisse Konklusionen (vgl. z.B. Addition und Multiplikation von Wahrscheinlichkeiten u.a.).

(4) The Probability of Induction 1878. - Die Wahrscheinlichkeit der Induktion.
Neben einer Auseinandersetzung mit der materialistischen (Venn) und konzeptualistischen (De Morgan) Vorstellung von Wahrscheinlichkeit, versucht Peirce, eine Antwort zu geben, auf die Frage: Wie sind synthetische Urteile überhaupt möglich? Das führt ihn zum Problem der Induktion, der synthetischen Schlußfolgerung, die prinzipiell nicht auf die Deduktion reduzierbar ist, die aber allein dazu fähig ist, unser reales Wissen zu vermehren.

(5) The Order of Nature 1878. - Die Ordnung der Natur.
Der Versuch einer Idee, wie wir uns das Universum, die Welt als Ganzes, (endlich - unendlich? kausal - zufällig?) vorstellen können, ohne dabei die Problematik ins Transzendente abzuschieben.

(6) Deduction, Induction, and Hypothesis 1878. - Deduktion, Induktion und Hypothese. Die deduktive Methode schließt vom Allgemeinen auf das Besondere (z.B. Barbara): Das Ergebnis der Konklusion besteht in der Anwendung der Regel (1. Prämisse) auf den Fall (2. Prämisse). Die induktive Methode schließt vom Besonderen (Ergebnis und Fall) auf das Allgemeine (Regel). Eine Hypothese liegt vor, wenn man von Regel und Ergebnis auf einen Fall schließt. So ist logisches Schließen einerseits deduktiv oder analytisch und andererseits synthetisch über Induktion oder Hypothese. Die Induktion ist das logische Äquivalent zur Gewohnheitsbildung, die Hypothese zur Bildung einer Emotion.

(7) Über Zeichen - aus Briefen an Lady Welby 1905/1908.
Eine kurze, konzentrierte Darstellung der Peirceschen Zeichentheorie, in der er ausgehend von 3 Kategorien: Firstness (Empfindung), Secondness (Erfahrung) und Thirdness (Denken) mehrfach triadische Klassifikationen von Zeichen untersucht. Letztlich reduziert er auf 10 Hauptklassen von Zeichen, deren modale Charakteristik eine sehr übersichtliche Darstellung ermöglicht. Die einleitenden Erörterungen von E. Walther sind insbesondere hier eine ausgezeichnete Hilfe zum besseren Verständnis.

KYBERNETISCHE VERANSTALTUNGEN

Vom 24. - 28. März 1968 "VI. Symposion über Programmierte Instruktion und Lehrmaschinen" im Deutschen Museum in München. Anmeldung: Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI), c/o Institut für Kybernetik, 1 Berlin 46, Malteserstr. 74-100. Kongreßsprache: Deutsch

3. Kybernetik-Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik: 23. bis 26. April 1968, München. Programme und Anmeldeformulare, die etwa Ende des Jahres 1967 zur Verfügung stehen, können bei der Deutschen Gesellschaft für Kybernetik, D-6 Frankfurt/Main 70 (Bundesrepublik Deutschland), Stresemann-Allee 21, VDE-Haus, angefordert werden.

Fachtagung kybernetische Pädagogik der österreichischen Mitglieder der Gesellschaft für Programmierte Instruktion, Februar 1968, Wien. Anfragen an: A. G. Holzer, A 1010 Wien 1, Heinrichsgasse 2.

Symposion über Lehrmaschinentechnik und theoretische Grundlagen der kybernetischen Pädagogik, veranstaltet von der Arbeitsgruppe Kybernetik der Gesellschaft für Programmierte Instruktion (GPI) zusammen mit der Tschechoslowakischen Akademie der Wissenschaften, Prag 1968.
Kongreßsprachen: Tschechisch, Slowakisch, Deutsch. Anfragen an:
Ing. Zdĕnek Křečan CSc., Lehrstuhl für Unterrichtstechnik an der Päd. Fakultät der Karls-Universität Prag, Praha 1, Rettigové 4.

15. Biometrisches Colloquium der Deutschen Region der Internationalen Biometrischen Gesellschaft vom 21. bis 24. Februar 1968 in Hannover. Auskünfte erteilt das Institut für Statistik und Biometrie, 3 Hannover, Bischofsholer Damm 15, Tel. 0511/8113-402

Blauert, Jens	51 Aachen, Institut für elektrische Nachrichtentechnik der RWTH
Frank, Prof. Dr. Helmar	1 Berlin 33, Altensteinstr. 39
Gäng, Peter	1 Berlin 19, Altenburger Allee 19 bei Brandt
Heipcke, Dr. Klaus	34 Göttingen, Wagnerstr. 1, Päd. Sem.
Hofmann, Dr. Fridolin	852 Erlangen, Günther-Scharowsky-Straße. ZEF Rechenzentrum, Siemens AG
Klement, Dr. Hans-Werner	638 Bad Homburg, Theodor-Storm-Str. 27
Korvin, Dr. Hans	c/o Hardtmann, 1 Berlin 45, Lorenzstr. 65
Kümmel, Dr. Peter	Tokio, CPO-Box 1178, Staatliche Fremdsprachenhochschule
Maser, Dr. Siegfried	7 Stuttgart 1, Friedrichstr. 10/8 Lehrstuhl für Philosophie der TH
Missiri, Adel el	63 Gießen, Wilhelmstr. 20 Institut für Ernährungswissenschaft
Riedel, Harald	1 Berlin 38, Eiderstedter Weg 27
Thiele, Dr. Dr. Joachim	2082 Uetersen, Herderstr. 1

INHALT VON BAND 8 (1967)



12 ER 13

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener and Julian Bigelow

Behavior, Purpose and Teleology

Reproduktion aus

Philosophy of Science

Vol. X 1943

BEIHEFT ZU BAND 8 DER

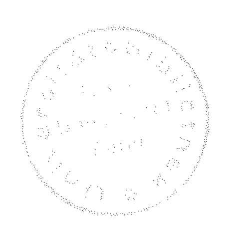
GRUNDLAGENSTUDIEN

AUS

KYBERNETIK

UND GEISTESWISSENSCHAFT

VERLAG SCHNELLE QUICKBORN



1967
Verlag Schnelle, Eberhard und Wolfgang Schnelle GmbH, Quickborn
Alle Rechte vorbehalten, auch die des auszugsweisen Abdrucks,
der Übersetzung und photomechanischen Wiedergabe.
Druck und Einband: Maurischat & Bevensee, Quickborn
Printed in Germany

Vorbemerkung

Wenn auch die Kybernetik trotz ihrer lebhaften, schon mehr als 25 Jahre dauernden, in sehr verschiedene Erfahrungsbereiche eingreifenden Entwicklung noch nicht zu einer befriedigenden Bestimmung ihres Begriffs gekommen ist - eine Unsicherheit, die auch in der Unsicherheit ihres Geschichtsbildes zum Ausdruck kommt - so zeichnet sich für einen künftigen Geschichtsschreiber der Kybernetik doch schon heute eine Reihe von Arbeiten ab, die notwendig in ihre Geschichte eingehen werden. Zu dieser Reihe gehört gewiß - nicht zuletzt wegen ihres die Namengebung der Kybernetik vollziehenden Titels - die heute sehr verbreitete amerikanische Erstausgabe des Buches von Norbert Wiener: "Cybernetics or control and communication in the animal and the machine" (1948). Die zweite, revidierte und ergänzte Auflage dieses Buches in deutscher Sprache: "Kybernetik. Regelung und Nachrichtenübertragung im Lebewesen und in der Maschine" ist 1963 erschienen.

Es wäre nun aber gewiß, ganz abgesehen von der sicher zu verneinenden Frage nach der amerikanischen Priorität des ersten Ansatzes der Kybernetik, unzutreffend, die amerikanische Kybernetik, wie es gegenwärtig oft geschieht, erst im Jahre 1948 mit dem Erscheinen des Wienerschen Buches "Cybernetics" beginnen zu lassen; denn in diesem Buch sagt Wiener auf Seite 19 - man vergleiche auch die deutsche Ausgabe 1963 Seite 39 f. -:

"We have decided to call the entire field of control and communication theory, whether in the machine or in the animal, by the name Cybernetics, which we form from the Greek κυβερνήτης or steersman. In choosing this term, we wish to recognize that the first significant paper on feed-back mechanisms, is an article on governors, which was published by Clerk Maxwell in 1868, Proc. Roy. Soc. (London) March 5, 1868, and that governor is derived from a Latin corruption of κυβερνήτης. We also wish to refer to the fact that the steering engines of a ship are indeed one of the earliest and best developed forms of feed-back mechanisms.

Although the term cybernetics does not date further back than the summer of 1947, we shall find it convenient to use in referring to earlier epochs of the development of the field. From 1942 or thereabouts, the development of the subject went ahead on in several fronts. First the ideas of the joint paper of Bigelow, Rosenblueth, and Wiener were disseminated by Dr. Rosenblueth at a meeting held in New York in 1942 under the auspices of the Josiah Macy foundation, and devoted to problems of central inhibition in the nervous system."

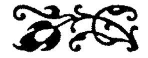
Hier wird also der Name der Kybernetik auch für die frühere amerikanische Entwicklung vor 1948, und zwar mit Recht, in Anspruch genommen unter besonderer Nennung der Arbeit von Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow: Behavior, Purpose and Teleology, Philosophy of Science, vol 10, pp. 18-24, 1943.

Diese Arbeit ist nach unserer gegenwärtigen Kenntnis die erste Dokumentation der amerikanischen Kybernetik; als solche wird sie hier zusammen mit ihrer Übersetzung ins Deutsche als Beiheft des Jahrgangs VIII, 1967, der "Grundlagenstudien aus Kybernetik und Geisteswissenschaft" abgedruckt.

Hermann Schmidt

Philosophy of Science

VOLUME X



BALTIMORE, MARYLAND

1943

BEHAVIOR, PURPOSE AND TELEOLOGY

ARTURO ROSENBLUETH, NORBERT WIENER AND JULIAN BIGELOW

This essay has two goals. The first is to define the behavioristic study of natural events and to classify behavior. The second is to stress the importance of the concept of purpose.

Given any object, relatively abstracted from its surroundings for study, the behavioristic approach consists in the examination of the output of the object and of the relations of this output to the input. By output is meant any change produced in the surroundings by the object. By input, conversely, is meant any event external to the object that modifies this object in any manner.

The above statement of what is meant by the behavioristic method of study omits the specific structure and the instrinsic organization of the object. This omission is fundamental because on it is based the distinction between the behavioristic and the alternative functional method of study. In a functional analysis, as opposed to a behavioristic approach, the main goal is the intrinsic organization of the entity studied, its structure and its properties; the relations between the object and the surroundings are relatively incidental.

From this definition of the behavioristic method a broad definition of behavior ensues. By behavior is meant any change of an entity with respect to its surroundings. This change may be largely an output from the object, the input being then minimal, remote or irrelevant; or else the change may be immediately traceable to a certain input. Accordingly, any modification of an object, detectable externally, may be denoted as behavior. The term would be, therefore, too extensive for usefulness were it not that it may be restricted by apposite adjectives—i.e., that behavior may be classified.

The consideration of the changes of energy involved in behavior affords a basis for classification. Active behavior is that in which the object is the source of the output energy involved in a given specific reaction. The object may store energy supplied by a remote or relatively immediate input, but the input does not energize the output directly. In passive behavior, on the contrary, the object is not a source of energy; all the energy in the output can be traced to the immediate input (e.g., the throwing of an object), or else the object may control energy which remains external to it throughout the reaction (e.g., the soaring flight of a bird).

Active behavior may be subdivided into two classes: purposeless (or random) and purposeful. The term purposeful is meant to denote that the act or behavior may be interpreted as directed to the attainment of a goal—i.e., to a final condition in which the behaving object reaches a definite correlation in time or in space with respect to another object or event. Purposeless behavior then is that which is not interpreted as directed to a goal.

The vagueness of the words "may be interpreted" as used above might be considered so great that the distinction would be useless. Yet the recognition that behavior may sometimes be purposeful is unavoidable and useful, as follows.

VERHALTEN, ZWECK UND TELEOLOGIE

Arturo Rosenblueth, Norbert Wiener und Julian Bigelow
Philosophy of Science Bd. 10 1943, S. 18-24

Dieser Aufsatz hat zwei Ziele. Das erste ist eine Definition der behavioristischen Betrachtung von Naturereignissen und eine Einteilung der Verhaltensweisen. Das zweite ist, die Wichtigkeit des Zweckbegriffs zu unterstreichen.

Bei einem beliebig gegebenen Objekt, von dessen Umgebung man zu Studienzwecken weitgehend absieht, besteht das behavioristische Herangehen in der Untersuchung der Ausgangsgröße zur Eingangsgröße. Unter Ausgangsgröße ist irgendeine Änderung, die durch das Objekt in seiner Umgebung hervorgerufen wurde, zu verstehen. Dagegen verstehen wir unter Eingangsgröße irgendein äußeres Ereignis, das auf das Objekt wirkt und es in irgendeiner Weise beeinflußt.

Die oben gegebene Darstellung der behavioristischen Betrachtungsweise sieht ab von der speziellen Struktur und der internen Organisation des Objekts. Diese Vernachlässigung ist grundlegend, da auf ihr der Unterschied zwischen der behavioristischen und der zu ihr gegensätzlichen funktionellen Betrachtungsweise beruht. Bei einer funktionellen Analyse ist im Gegensatz zum behavioristischen Herangehen die interne Organisation des betrachteten Objekts, seine Struktur und seine Eigenschaften das Hauptziel. Die Beziehungen zwischen dem Objekt und seiner Umgebung sind verhältnismäßig nebensächlich.

Aus dieser Definition der behavioristischen Methode folgt eine klare Definition des Verhaltens. Unter Verhalten versteht man irgendeine Änderung eines Objekts hinsichtlich seiner Umgebung. Ist die Eingangsgröße vernachlässigbar klein, (zeitlich) weit zurückliegend oder ohne Einfluß, so kann diese Änderung im wesentlichen eine Ausgangswirkung des Objekts sein; diese Änderung kann aber auch unmittelbar auf einen bestimmten Eingangswert zurückzuführen sein. Damit kann irgendeine Veränderung eines Objekts, die von außen zu beobachten ist, als Verhalten bezeichnet werden. Dieser Begriff wäre aber in bezug auf seine Anwendbarkeit zu weit gefaßt, könnte er nicht durch beigefügte Adjektive eingeschränkt werden, d.h. wäre das Verhalten nicht klassifizierbar.

Eine Grundlage für eine solche Einteilung liefert die Betrachtung der während der Verhaltensvorgänge auftretenden Energieänderungen. Bei aktivem Verhalten ist das Objekt selbst die Quelle der für die spezielle Reaktion erforderliche Energie. Das Objekt kann Energie, die von einer (zeitlich) zurückliegenden oder verhältnismäßig naheliegenden Eingangsgröße stammt, speichern; der Input liefert jedoch nicht direkt die Ausgabe-Energie. Im Gegensatz dazu ist bei passivem Verhalten das Objekt keine Energiequelle; die gesamte Ausgabeenergie kann unmittelbar auf eine augenblickliche Eingangsgröße zurückgeführt werden (z.B. das Werfen eines Objekts), oder aber das Objekt steuert Energieprozesse, die während der Reaktion (bezüglich des Objekts) äußere Energievorgänge bleiben (z.B. Schwebeflug eines Vogels).

Aktives Verhalten kann in zwei Klassen unterteilt werden: zweckloses (oder zufälliges) und zweckgerichtetes Verhalten. Der Ausdruck zweckgerichtet wird benutzt um anzudeuten, daß die Handlung oder das Verhalten als "auf das Erreichen eines Ziels gerichtet" gedeutet werden kann, d.h. auf einen Endzustand, in dem das (sich verhaltende) Objekt eine bestimmte zeitliche oder örtliche Beziehung hinsichtlich eines anderen Objekts oder Ereignisses eingeht. Zweckloses Verhalten ist dann jenes, das nicht als zielgerichtet gedeutet wird.

Man könnte der Auffassung sein, daß die durch den Ausdruck "kann gedeutet werden" ausgedrückte Unsicherheit so groß ist, daß die Unterscheidung unbrauchbar ist.
Die Einsicht, eine Verhaltensweise sei manchmal zweckvoll, ist jedoch unvermeidlich und nützlich, wie aus folgendem hervorgeht:

The basis of the concept of purpose is the awareness of "voluntary activity." Now, the purpose of voluntary acts is not a matter of arbitrary interpretation but a physiological fact. When we perform a voluntary action what we select voluntarily is a specific purpose, not a specific movement. Thus, if we decide to take a glass containing water and carry it to our mouth we do not command certain muscles to contract to a certain degree and in a certain sequence; we merely trip the purpose and the reaction follows automatically. Indeed, experimental physiology has so far been largely incapable of explaining the mechanism of voluntary activity. We submit that this failure is due to the fact that when an experimenter stimulates the motor regions of the cerebral cortex he does not duplicate a voluntary reaction; he trips efferent, "output" pathways, but does not trip a purpose, as is done voluntarily.

The view has often been expressed that all machines are purposeful. This view is untenable. First may be mentioned mechanical devices such as a roulette, designed precisely for purposelessness. Then may be considered devices such as a clock, designed, it is true, with a purpose, but having a performance which, although orderly, is not purposeful—i.e., there is no specific final condition toward which the movement of the clock strives. Similarly, although a gun may be used for a definite purpose, the attainment of a goal is not intrinsic to the performance of the gun; random shooting can be made, deliberately purposeless.

Some machines, on the other hand, are intrinsically purposeful. A torpedo with a target-seeking mechanism is an example. The term servomechanisms has been coined precisely to designate machines with intrinsic purposeful behavior.

It is apparent from these considerations that although the definition of purposeful behavior is relatively vague, and hence operationally largely meaningless, the concept of purpose is useful and should, therefore, be retained.

Purposeful active behavior may be subdivided into two classes: "feed-back" (or "teleological") and "non-feed-back" (or "non-teleological"). The expression feed-back is used by engineers in two different senses. In a broad sense it may denote that some of the output energy of an apparatus or machine is returned as input; an example is an electrical amplifier with feed-back. The feed-back is in these cases positive—the fraction of the output which reenters the object has the same sign as the original input signal. Positive feed-back adds to the input signals, it does not correct them. The term feed-back is also employed in a more restricted sense to signify that the behavior of an object is controlled by the margin of error at which the object stands at a given time with reference to a relatively specific goal. The feed-back is then negative, that is, the signals from the goal are used to restrict outputs which would otherwise go beyond the goal. It is this second meaning of the term feed-back that is used here.

All purposeful behavior may be considered to require negative feed-back. If a goal is to be attained, some signals from the goal are necessary at some time to direct the behavior. By non-feed-back behavior is meant that in which there are no signals from the goal which modify the activity of the object *in the*

Eine Grundlage des Zweckbegriffs ist die Kenntnis von "willkürlicher Aktivität". Der Zweck bewußter Handlungen ist kein Gegenstand willkürlicher Interpretation, sondern eine physiologische Tatsache. Wenn wir eine bewußte Handlung ausführen, so ist das von uns Gewählte ein spezieller Zweck, nicht eine spezielle Aktivität. Wenn wir z.B. ein Glas Wasser greifen und dies an unseren Mund führen wollen, dann ordnen wir nicht bestimmte Muskelzusammenziehungen um einen bestimmten Grad und in einer bestimmten Folge an; wir fassen nur den Zweck ins Auge; die Reaktion erfolgt automatisch. Tatsächlich hat sich die experimentelle Physiologie bis heute als weitgehend unfähig erwiesen, den Mechanismus solcher bewußter Handlungen zu erklären. Wir geben zu, daß dieser Mißerfolg der Tatsache zuzuschreiben ist, daß ein Experimentator durch Anregung der motorischen Regionen der Cerebralcortex keine bewußte Reaktion nachbildet; er faßt efferente "output"-Wege ins Auge, aber nicht einen Zweck, wie es bei einer bewußten Handlung der Fall wäre.

Oft wurde die Ansicht vertreten, daß alle Maschinen zweckgerichtet wären. Diese Ansicht ist unhaltbar. Als erstes könnte man da mechanische Anordnungen wie z.B. ein Roulette erwähnen, das gerade für "Zweckfreiheit" entworfen worden ist. Dann könnte man an Apparate wie eine Uhr denken, die wahrlich zu einem Zweck erdacht wurde, die jedoch im Betriebszustand - obwohl genau gehend - nicht zweckgerichtet ist, d.h. es existiert kein spezifischer Endzustand, gegen den die Bewegung der Uhr strebt. Genauso ist es mit einem Gewehr, das zu einem ganz bestimmten Zweck benutzt werden kann, für dessen Betrieb jedoch das Erreichen eines Zieles nicht wesentlich ist. Man kann auch Streufeuer schießen, das vorsätzlich auf keinen bestimmten Zweck gerichtet ist.

Andererseits sind einige Maschinen tatsächlich zweckgerichtet. Ein Torpedo mit Zielsucheinrichtung ist ein Beispiel dafür. Der Ausdruck Servo-Mechanismus ist geprägt worden, um solche Maschinen mit im wesentlichen zweckgerichtetem Verhalten zu kennzeichnen.

Aus diesen Betrachtungen folgt, daß der Zweckbegriff, obwohl die Definition zweckgerichteten Verhaltens relativ vage und damit praktisch weitgehend bedeutungslos ist, brauchbar ist und deswegen beibehalten werden soll.

Aktives zweckgerichtetes Verhalten kann in zwei Klassen unterteilt werden: in "rückgekoppeltes" (oder "teleologisches") und "nicht rückgekoppeltes" (oder "nicht teleologisches") Verhalten. Der Ausdruck Rückkoppelung wird von Technikern in zwei verschiedenen Bedeutungen benutzt. Im weiteren Sinn ist gemeint, daß ein Teil der Ausgangsenergie eines Apparates oder einer Maschine als Eingangsgröße zurückgeführt wird. Ein Beispiel dafür ist ein elektrischer Verstärker mit Rückkoppelung. Die Rückkoppelung ist in diesen Fällen positiv und der Bruchteil der Ausgangsgröße, der zum Eingang des Objekts rückgeführt wird, hat das gleiche Vorzeichen wie das ursprüngliche Eingangssignal. Positive Rückkopplung verstärkt die Eingangssignale, sie verändert (verbessert) sie nicht. Die Bezeichnung Rückkopplung wird auch in einem eingeschränkteren Sinne benutzt, um damit zu erkennen zu geben, daß das Verhalten eines Objekts durch die Fehlerabweichung, die das Objekt zu einem gegebenen Zeitpunkt bezüglich eines speziellen Zieles besitzt, gesteuert wird. Die Rückkopplung ist dann negativ, d.h. die Signale der Sollgröße werden benutzt, um Ausgangssgrößen beschränkt zu halten, die andernfalls über den Sollwert hinausgehen würden. Die zweite Bedeutung dieses Begriffs wird hier angewandt.

Man kann es so ausdrücken, daß zu zweckgerichtetem Verhalten eine Gegenkopplung auftreten muß. Wenn ein Ziel erreicht werden soll, so werden von Zeit zu Zeit Signale von diesem zur Steuerung des Verhaltens benötigt. Unter nichtrückgekoppeltem Verhalten versteht man ein solches, bei dem keine Signale vom Ziel her (Endzustand) kommen, die zur Veränderung der Aktivität des Objekts im Verlauf des Verhaltens dienen könnten. So könnte eine Maschine dazu ver-

course of the behavior. Thus, a machine may be set to impinge upon a luminous object although the machine may be insensitive to light. Similarly, a snake may strike at a frog, or a frog at a fly, with no visual or other report from the prey after the movement has started. Indeed, the movement is in these cases so fast that it is not likely that nerve impulses would have time to arise at the retina, travel to the central nervous system and set up further impulses which would reach the muscles in time to modify the movement effectively.

As opposed to the examples considered, the behavior of some machines and some reactions of living organisms involve a continuous feed-back from the goal that modifies and guides the behaving object. This type of behavior is more effective than that mentioned above, particularly when the goal is not stationary. But continuous feed-back control may lead to very clumsy behavior if the feed-back is inadequately damped and becomes therefore positive instead of negative for certain frequencies of oscillation. Suppose, for example, that a machine is designed with the purpose of impinging upon a moving luminous goal; the path followed by the machine is controlled by the direction and intensity of the light from the goal. Suppose further that the machine overshoots seriously when it follows a movement of the goal in a certain direction; an even stronger stimulus will then be delivered which will turn the machine in the opposite direction. If that movement again overshoots a series of increasingly larger oscillations will ensue and the machine will miss the goal.

This picture of the consequences of undamped feed-back is strikingly similar to that seen during the performance of a voluntary act by a cerebellar patient. At rest the subject exhibits no obvious motor disturbance. If he is asked to carry a glass of water from a table to his mouth, however, the hand carrying the glass will execute a series of oscillatory motions of increasing amplitude as the glass approaches his mouth, so that the water will spill and the purpose will not be fulfilled. This test is typical of the disorderly motor performance of patients with cerebellar disease. The analogy with the behavior of a machine with undamped feed-back is so vivid that we venture to suggest that the main function of the cerebellum is the control of the feed-back nervous mechanisms involved in purposeful motor activity.

Feed-back purposeful behavior may again be subdivided. It may be extrapolative (predictive), or it may be non-extrapolative (non-predictive). The reactions of unicellular organisms known as tropisms are examples of non-predictive performances. The amoeba merely follows the source to which it reacts; there is no evidence that it extrapolates the path of a moving source. Predictive animal behavior, on the other hand, is a commonplace. A cat starting to pursue a running mouse does not run directly toward the region where the mouse is at any given time, but moves toward an extrapolated future position. Examples of both predictive and non-predictive servomechanisms may also be found readily.

Predictive behavior may be subdivided into different orders. The cat chasing the mouse is an instance of first-order prediction; the cat merely predicts the path of the mouse. Throwing a stone at a moving target requires a second-order prediction; the paths of the target and of the stone should be foreseen.

wandt werden, auf ein erleuchtetes Objekt zu treffen, obgleich die Maschine für Licht unempfindlich ist. Ähnlich ist es, wenn eine Schlange nach einem Frosch schnappt oder ein Frosch nach einer Fliege, und sie keine visuellen oder anderen Rückmeldungen von der Beute haben, nachdem die Bewegung eingeleitet ist. Tatsächlich ist in diesen Fällen die Bewegung so schnell, daß es unwahrscheinlich ist, daß in der kurzen Zeit Nervenimpulse auf der Netzhaut entstehen, zum Zentral-Nervensystem wandern und andere Impulse auslösen, die rechtzeitig die Muskeln erreichen, um die Bewegung sinnvoll zu beeinflussen.

Im Gegensatz zu den eben betrachteten Beispielen gibt es beim Betrieb gewisser Maschinen und bei einigen Reaktionen lebender Organismen dauernd Rückmeldungen vom Sollzustand, wodurch das Verhalten des Objekts gesteuert und sein Verhalten verändert wird. Diese Art von Verhalten ist wirkungsvoller als die oben erwähnte, besonders wenn der Sollwert nicht stationär ist. Eine kontinuierliche Regelung kann aber auch zu einem sehr ungeschickten Verhalten führen, wenn die Dämpfung des Systems falsch bemessen ist und dadurch in einem bestimmten Schwingungs-Frequenzbereich positive anstelle von negativer Rückkopplung auftritt. Wir wollen z. B. annehmen, daß eine Maschine zu dem Zweck konstruiert wurde, ein bewegtes erleuchtetes Ziel zu treffen; der von der Maschine verfolgte Weg wird durch Richtung und Intensität der Ziellichtquelle gesteuert. Nehmen wir ferner an, daß die Maschine, wenn sie in einer bestimmten Richtung der Bewegung des Ziels folgt, weit über das Ziel hinausschießt; dann erhält die Maschine einen noch stärkeren Reiz, der eine Bewegung in die entgegengesetzte Richtung bewirken soll. Schießt diese Bewegung wieder über das Ziel hinaus, so ergibt sich eine Folge von ständig anwachsenden Schwingungen und die Maschine verfehlt das Ziel.

Dieses Bild von den Folgen ungedämpfter Rückkopplung ist demjenigen erstaunlich ähnlich, das man sieht, wenn ein Cerebellar-Patient eine bewußte Handlung ausführt. Im Ruhezustand zeigt die Versuchsperson keine auffallenden motorischen Störungen. Wird sie jedoch gebeten, ein Glas Wasser vom Tisch zum Mund zu führen, so führt die das Glas haltende Hand eine Reihe von Schwingungsbewegungen aus, deren Amplitude mit der Annäherung des Glases an den Mund anwächst, so daß das Wasser verschüttet und der Zweck nicht erreicht wird. Dieser Versuchsverlauf ist typisch für die krankhaften mototischen Leistungen von Patienten mit Kleinhirnschäden.
Die Analogie zum Verhalten einer Maschine mit ungedämpfter Rückkopplung ist so auffällig, daß wir es wagen anzunehmen, die Hauptfunktion des Kleinhirns sei die Kontrolle des nervösen Rückkopplungsmechanismus, der bei zweckgerichteter motorischer Aktivität angesprochen wird.

Zweckgerichtetes Rückkopplungsverhalten kann weiter unterteilt werden. Es kann extrapolativ (vorhersagend) oder nicht-extrapolativ (nicht-vorhersagend) sein. Die Reaktionen einzelliger Organismen, die als Tropismen bekannt sind, sind Beispiele für nicht-extrapolatives Tun. Die Amöbe folgt nur der Quelle, auf die sie reagiert; es hat nicht den Anschein, daß sie den Weg einer bewegten Quelle extrapoliert.
Extrapolatives tierisches Verhalten ist auf der anderen Seite etwas sehr Bekanntes: Eine Katze, die die Verfolgung einer laufenden Maus beginnt, läuft nicht direkt auf den Ort zu, an dem sich die Maus zu diesem Zeitpunkt befindet, sondern zielt auf einen extrapolierten, zukünftigen Ort. Beispiele für extrapolative wie auch für nicht-extrapolative Servo-Mechanismen sind leicht zu finden.

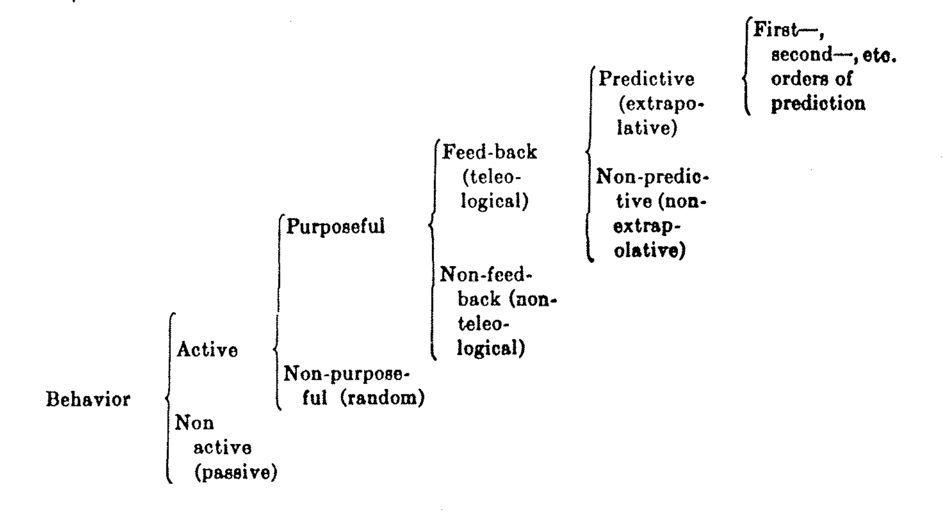
Vorhersagendes Verhalten kann in verschiedene Ordnungen unterteilt werden. Die Katze, die eine Maus jagt, ist ein Beispiel für eine Vorhersage erster Ordnung. Die Katze extrapoliert nur den Weg der Maus. Um einen Stein auf ein bewegtes Ziel zu werfen, wird eine Vorhersage zweiter Ordnung benötigt. Die Wege des Ziels und des Steins müssen vorausgesehen (extrapoliert) werden.

Examples of predictions of higher order are shooting with a sling or with a bow and arrow.

Predictive behavior requires the discrimination of at least two coordinates, a temporal and at least one spatial axis. Prediction will be more effective and flexible, however, if the behaving object can respond to changes in more than one spatial coordinate. The sensory receptors of an organism, or the corresponding elements of a machine, may therefore limit the predictive behavior. Thus, a bloodhound *follows* a trail, that is, it does not show any predictive behavior in trailing, because a chemical, olfactory input reports only spatial information: distance, as indicated by intensity. The external changes capable of affecting auditory, or, even better, visual receptors, permit more accurate spatial localization; hence the possibility of more effective predictive reactions when the input affects those receptors.

In addition to the limitations imposed by the receptors upon the ability to perform extrapolative actions, limitations may also occur that are due to the internal organization of the behaving object. Thus, a machine which is to trail predictively a moving luminous object should not only be sensitive to light (e.g., by the possession of a photoelectric cell), but should also have the structure adequate for interpreting the luminous input. It is probable that limitations of internal organization, particularly of the organization of the central nervous system, determine the complexity of predictive behavior which a mammal may attain. Thus, it is likely that the nervous system of a rat or dog is such that it does not permit the integration of input and output necessary for the performance of a predictive reaction of the third or fourth order. Indeed, it is possible that one of the features of the discontinuity of behavior observable when comparing humans with other high mammals may lie in that the other mammals are limited to predictive behavior of a low order, whereas man may be capable potentially of quite high orders of prediction.

The classification of behavior suggested so far is tabulated here:



Beispiele für Extrapolationen höherer Ordnung sind das Schießen mit einer Schleuder oder mit Pfeil und Bogen.

Vorhersagendes Verhalten erfordert die Unterscheidung von mindestens zwei Koordinaten, einer zeitlichen und (wenigstens) einer räumlichen Achse. Die Vorhersage ist jedoch flexibler und wirkungsvoller, wenn das sich verhaltende Objekt auf Änderungen in mehr als einer räumlichen Koordinate reagieren kann. Die sensorischen Rezeptoren eines Organismus oder die entsprechenden Bauteile einer Maschine sind daher für eine Begrenzung des extrapolativen Verhaltens verantwortlich. So folgt ein Schweißhund z.B. einer Fährte, d.h. er zeigt kein irgendwie geartetes vorhersagendes Verhalten beim Spurensuchen, da die chemische, auf den Geruchssinn wirkende Eingangsgröße nur räumliche Information liefert: Information über die (räumliche) Entfernung, die durch die Intensität des Geruchs angezeigt wird. Diejenigen äußeren Änderungen, die auf das Gehör oder noch besser auf den Gesichtssinn einwirken können, gestatten eine genauere räumliche Lokalisierung; somit ist die Möglichkeit wirkungsvoller extrapolativer Reaktionen gegeben, wenn die Eingangsgröße jene Rezeptoren beeinflußt.

Zusätzlich zu den Grenzen der Fähigkeit, extrapolative Handlungen auszuführen, die ihr durch die Rezeptoren auferlegt werden, gibt es Schranken, die auf die interne Organisation des sich verhaltenden Objekts zurückzuführen sind. So sollte eine Maschine, die ein bewegtes leuchtendes Objekt extrapolierend zu verfolgen hat, nicht nur für Licht empfindlich sind (z.B. durch den Besitz einer Fotozelle), sondern sollten auch eine Struktur aufweisen, die eine Interpretation des leuchtenden Signals erlaubt. Es ist wahrscheinlich, daß Schranken, die durch die interne Organisation, besonders durch diejenige des Zentralnervensystems, auferlegt werden, die Komplexität des extrapolativen Verhaltens bestimmen, die ein Säugetier erreichen kann. Es scheint so, als ob das Nervensystem einer Ratte oder eines Hundes eine Integration der Eingangs- und der Ausgangsgröße, die für die Ausführung einer extrapolativen Reaktion dritter oder vierter Ordnung notwendig ist, nicht gestattet. Tatsächlich ist es möglich, daß eines der Kennzeichen für das unterschiedliche Verhalten, das man beobachtet, wenn man Menschen mit anderen hochentwickelten Säugetieren vergleicht, darin besteht, daß die anderen Säugetiere auf extrapolatives Verhalten niederer Ordnung beschränkt sind, während der Mensch zu weit höheren Ordnungen der Vorhersage fähig ist.

Die dem Bisherigen entsprechende Einteilung des Verhaltens sei im folgenden wiedergegeben:

- Verhalten
  - aktives
    - zweckgerichtetes
      - mit Rückkopplung
        - extrapolatives
          - 1., 2., .. Ordnung der Vorhersage
        - nicht extrapolatives
      - ohne Rückkopplung
    - zufälliges
  - passives

It is apparent that each of the dichotomies established singles out arbitrarily one feature, deemed interesting, leaving an amorphous remainder: the non-class. It is also apparent that the criteria for the several dichotomies are heterogeneous. It is obvious, therefore, that many other lines of classification are available, which are independent of that developed above. Thus, behavior in general, or any of the groups in the table, could be divided into linear (i.e., output proportional to input) and non-linear. A division into continuous and discontinuous might be useful for many purposes. The several degrees of freedom which behavior may exhibit could also be employed as a basis of systematization.

The classification tabulated above was adopted for several reasons. It leads to the singling out of the class of predictive behavior, a class particularly interesting since it suggests the possibility of systematizing increasingly more complex tests of the behavior of organisms. It emphasizes the concepts of purpose and of teleology, concepts which, although rather discredited at present, are shown to be important. Finally, it reveals that a uniform behavioristic analysis is applicable to both machines and living organisms, regardless of the complexity of the behavior.

It has sometimes been stated that the designers of machines merely attempt to duplicate the performances of living organisms. This statement is uncritical. That the gross behavior of some machines should be similar to the reactions of organisms is not surprising. Animal behavior includes many varieties of all the possible modes of behavior and the machines devised so far have far from exhausted all those possible modes. There is, therefore a considerable overlap of the two realms of behavior. Examples, however, are readily found of man-made machines with behavior that transcends human behavior. A machine with an electrical output is an instance; for men, unlike the electric fishes, are incapable of emitting electricity. Radio transmission is perhaps an even better instance, for no animal is known with the ability to generate short waves, even if so-called experiments on telepathy are considered seriously.

A further comparison of living organisms and machines leads to the following inferences. The methods of study for the two groups are at present similar. Whether they should always be the same may depend on whether or not there are one or more qualitatively distinct, unique characteristics present in one group and absent in the other. Such qualitative differences have not appeared so far.

The broad classes of behavior are the same in machines and in living organisms. Specific, narrow classes may be found exclusively in one or the other. Thus, no machine is available yet that can write a Sanscrit-Mandarin dictionary. Thus, also, no living organism is known that rolls on wheels—imagine what the result would have been if engineers had insisted on copying living organisms and had therefore put legs and feet in their locomotives, instead of wheels.

While the behavioristic analysis of machines and living organisms is largely uniform, their functional study reveals deep differences. Structurally, organisms are mainly colloidal, and include prominently protein molecules, large,

Offenbar greift jede der angegebenen Alternativen willkürlich eine Eigenschaft, die für wesentlich gehalten wird, heraus und läßt einen amorphen Rest zurück. Ebenso offensichtlich sind die Kriterien der verschiedenen Alternativen heterogen. Daher ist es klar, daß es noch viele andere von den oben entwickelten unabhängigen Klassifikationsregeln gibt. So könnte man Verhalten ganz allgemein (oder irgendein bestimmtes Verhalten der Tabelle) in lineares (Ausgangsgröße der Eingangsgröße proportional) und nicht-lineares unterteilen. Eine Unterscheidung von kontinuierlichem und diskontinuierlichem Verhalten kann für manche Zwecke nützlich sein. Ebenso könnten die verschiedenen Freiheitsgrade des Verhaltens als Grundlage einer Systematik benutzt werden.

Aus verschiedenen Gründen wurde die oben angegebene Einteilung gewählt. Sie stellt die Klasse vorhersehbaren Verhaltens heraus, die von besonderem Interesse ist, weil sie die Möglichkeit einer Systematisierung zunehmend komplexerer Untersuchungen über das Verhalten von Organismen bietet. Sie unterstreicht die Bedeutung der Begriffe Zweck und Teleologie - Begriffe, deren Wichtigkeit nachgewiesen wurde, obwohl sie heutzutage in einigen Mißkredit gefallen sind. Schließlich zeigt sie, daß eine einheitliche behavioristische Analyse sowohl auf Maschinen als auch auf lebende Organismen anwendbar ist, und zwar unabhängig von der Komplexität des Verhaltens.

Es wurde oft behauptet, daß die Konstrukteure von Maschinen nur eine Nachahmung der Funktionen lebender Organismen anstreben. Diese Behauptung ist zu oberflächlich. Es überrascht nicht, daß das Grob-Verhalten einiger Maschinen den Reaktionen von Organismen ähnelt. Tierisches Verhalten schließt viele Spielarten aller möglichen Verhaltenstypen ein; die bis heute entworfenen Maschinen sind weit davon entfernt, alle jene möglichen Verhaltenstypen ausgeschöpft zu haben. Daher besteht also eine beträchtliche Überlappung zwischen den beiden Verhaltensbereichen.
Es sind jedoch leicht auch Beispiele für von Menschenhand entworfene Maschinen zu finden, deren Verhaltensweise über die des Menschen hinausreicht. Eine Maschine mit einer elektrischen Ausgangsgröße ist ein Beispiel; Menschen sind - im Gegensatz zu den Elektrofischen - nicht in der Lage, Elektrizität abzugeben. Die Übertragung von Radiowellen ist ein vielleicht noch besseres Beispiel, denn es ist kein Tier bekannt, das die Fähigkeit zur Erzeugung von Kurzwellen besitzt, sogar dann nicht, wenn man ernstlich sogenannte telepathische Experimente untersucht.

Ein weiterer Vergleich zwischen lebenden Organismen und Maschinen führt zu folgendem Schluß. Die Untersuchungsmethoden sind heutzutage für beide Gruppen gleich. Ob sie immer gleich bleiben, hängt davon ab, ob ein oder mehrere qualitativ verschiedene Merkmale in einer Gruppe vorhanden und in der anderen nicht vorhanden sind. Solche qualitativen Unterschiede sind bisher nicht aufgetreten.

Grob gesehen sind die Verhaltensklassen bei Maschinen und lebenden Organismen gleich. Ganz bestimmte eng definierte Klassen sind jedoch ausschließlich entweder bei Maschinen oder lebenden Organismen anzutreffen. So gibt es augenblicklich keine Maschine, die ein Sanskrit-Mandarin-Wörterbuch schreiben kann. Es ist auch kein lebender Organismus bekannt, der sich auf Rädern fortbewegt. - Man stelle sich nur vor, die Ingenieure hätten auf einer Kopie lebender Organismen bestanden und demzufolge ihre Lokomotiven anstelle von Rädern mit Beinen und Füßen ausgerüstet.

Während die behavioristische Analyse von Maschinen und lebenden Organismen weitgehend gleichartig ist, zeigt eine funktionelle Betrachtung große Unterschiede zwischen beiden Gruppen. Was das Strukturelle anbetrifft, so sind Organismen hauptsächlich kolloidal und enthalten im wesentlichen große, komplexe und anisotrope Eiweißmoleküle; Maschinen sind hauptsächlich metallisch

complex and anisotropic; machines are chiefly metallic and include mainly simple molecules. From the standpoint of their energetics, machines usually exhibit relatively large differences of potential, which permit rapid mobilization of energy; in organisms the energy is more uniformly distributed, it is not very mobile. Thus, in electric machines conduction is mainly electronic, whereas in organisms electric changes are usually ionic.

Scope and flexibility are achieved in machines largely by temporal multiplication of effects, frequencies of one million per second or more are readily obtained and utilized. In organisms, spatial multiplication, rather than temporal, is the rule; the temporal achievements are poor—the fastest nerve fibers can only conduct about one thousand impulses per second; spatial multiplication is on the other hand abundant and admirable in its compactness. This difference is well illustrated by the comparison of a television receiver and the eye. The television receiver may be described as a single cone retina; the images are formed by scanning—i.e. by orderly successive detection of the signal with a rate of about 20 million per second. Scanning is a process which seldom or never occurs in organisms, since it requires fast frequencies for effective performance. The eye uses a spatial, rather than a temporal multiplier. Instead of the one cone of the television receiver a human eye has about 6.5 million cones and about 115 million rods.

If an engineer were to design a robot, roughly similar in behavior to an animal organism, he would not attempt at present to make it out of proteins and other colloids. He would probably build it out of metallic parts, some dielectrics and many vacuum tubes. The movements of the robot could readily be much faster and more powerful than those of the original organism. Learning and memory, however, would be quite rudimentary. In future years, as the knowledge of colloids and proteins increases, future engineers may attempt the design of robots not only with a behavior, but also with a structure similar to that of a mammal. The ultimate model of a cat is of course another cat, whether it be born of still another cat or synthesized in a laboratory.

In classifying behavior the term "teleology" was used as synonymous with "purpose controlled by feed-back." Teleology has been interpreted in the past to imply purpose and the vague concept of a "final cause" has been often added. This concept of final causes has led to the opposition of teleology to determinism. A discussion of causality, determinism and final causes is beyond the scope of this essay. It may be pointed out, however, that purposefulness, as defined here, is quite independent of causality, initial or final. Teleology has been discredited chiefly because it was defined to imply a cause subsequent in time to a given effect. When this aspect of teleology was dismissed, however, the associated recognition of the importance of purpose was also unfortunately discarded. Since we consider purposefulness a concept necessary for the understanding of certain modes of behavior we suggest that a teleological study is useful if it avoids problems of causality and concerns itself merely with an investigation of purpose.

We have restricted the connotation of teleological behavior by applying this

und enthalten im wesentlichen einfache Moleküle. Vom energetischen Gesichtspunkt aus betrachtet weisen Maschinen gewöhnlich relativ große Potentialdifferenzen auf, wodurch ein schnelles Freisetzen von Energie ermöglicht wird; in Organismen ist, im Gegensatz dazu, die Energie gleichmäßiger verteilt. So beruht z. B. in elektrischen Maschinen die Stromleitung hauptsächlich auf Elektronen, wogegen elektrische Veränderungen in Organismen gewöhnlich auf Ionenbewegungen zurückzuführen sind.

Reichweite und Flexibilität wird im Bereich der Maschinen zum großen Teil durch zeitliche Vervielfachung von Wirkungen erreicht; Frequenzen von 1 MHz und mehr werden leicht erzeugt und benutzt. Im Bereich der Organismen ist eher die räumliche als die zeitliche Häufung die Regel. Das in zeitlicher Hinsicht Erreichte ist gering - die schnellsten Nervenfasern können nur etwa 1000 Impulse je Sekunde übertragen; auf der anderen Seite wird dagegen die räumliche Vervielfachung im Überfluß angewandt und deren Dichte ist bewundernswert. Dieser Unterschied läßt sich durch einen Vergleich eines Fernsehempfängers mit dem menschlichen Auge illustrieren. Der Fernsehempfänger kann als einzapfige Netzhaut beschrieben werden; die Bilder entstehen durch Abtastung, d. h. durch regelmäßige fortlaufende Entnahme einer Probe des Signals mit einer Folgefrequenz von etwa 20 MHz. Abtastung ist ein Prozeß, der in Organismen selten oder niemals auftritt, da zur wirksamen Durchführung hohe Frequenzen benötigt werden. Das Auge benutzt eher eine räumliche als eine zeitliche Vervielfachung. Anstelle des einen Zapfens des Fernsehempfängers hat das menschliche Auge etwa 6,5 Millionen Zäpfchen und etwa 115 Millionen Stäbchen. Hätte ein Ingenieur den Auftrag, einen Roboter zu entwerfen, der in seinem Grob-Verhalten demjenigen eines tierischen Organismus gleicht, so würde er heutzutage nicht versuchen, ihn aus Eiweißen und anderen Kolloiden aufzubauen. Er würde ihn wahrscheinlich aus metallischen Teilen, einigen Dielektriken und vielen Elektronenröhren aufbauen. Die Bewegungen des Roboters könnten ohne weiteres viel schneller und kraftvoller als die des Vergleichsorganismus sein. Lerneigenschaften und Gedächtnisfunktionen wären jedoch völlig rudimentär. In zukünftigen Jahren, wenn das Wissen über Kolloide und Proteine größer geworden ist, werden Ingenieure vielleicht versuchen, Roboter zu bauen, die nicht nur in ihrem Verhalten, sondern auch in ihrer Struktur einem Säugetier gleichen. Das beste Modell einer Katze ist natürlich eine andere Katze, ganz gleich, ob sie von einer Katze abstammt oder in einem Labor hergestellt wurde. Bei der Einteilung des Verhaltens wurde der Begriff "Teleologie" als Synonym für "durch Rückkopplung gesteuertes Zweckstreben" benutzt. In der Vergangenheit meinte man, daß Teleologie einen Zweck zum Inhalt habe und oft wurde der ungenaue Begriff des "Endzwecks" hinzugefügt. Dieser Begriff des Endzwecks hat zu einer Gegenüberstellung von Teleologie und Determinismus geführt. Eine Auseinandersetzung mit den Begriffen Kausalität, Determinismus und Endzweck überschreitet den Rahmen dieses Aufsatzes. Es soll jedoch darauf hingewiesen werden, daß Zweckgerichtetsein, wie es hier definiert wurde, mit Kausalität nichts zu tun hat. Der Teleologie-Begriff wurde hauptsächlich dadurch abgewertet, weil man behauptete, er enthielte eine Ursache, die sich beizeiten einer angestrebten Wirkung anpasse. Als diese Auffassung von der Teleologie fallen gelassen wurde, geschah dies unglücklicherweise gleichfalls mit der damit verbundenen Beachtung der Wichtigkeit des Zweckbegriffs. Da wir das Zweckgerichtetsein als einen für das Verständnis bestimmter Verhaltensformen notwendigen Begriff ansehen, glauben wir, daß eine teleologische Betrachtung dann nützlich ist, wenn sie Kausalitätsprobleme vermeidet und sich nur auf eine Untersuchung des Zweckverhaltens beschränkt.

Wir haben die Bedeutung des Begriffs teleologisches Verhalten dadurch eingeschränkt, daß wir

designation only to purposeful reactions which are controlled by the error of the reaction—i.e., by the difference between the state of the behaving object at any time and the final state interpreted as the purpose. Teleological behavior thus becomes synonymous with behavior controlled by negative feed-back, and gains therefore in precision by a sufficiently restricted connotation.

According to this limited definition, teleology is not opposed to determinism, but to non-teleology. Both teleological and non-teleological systems are deterministic when the behavior considered belongs to the realm where determinism applies. The concept of teleology shares only one thing with the concept of causality: a time axis. But causality implies a one-way, relatively irreversible functional relationship, whereas teleology is concerned with behavior, not with functional relationships.

Harvard Medical School and Massachusetts Institute of Technology.

---

diese Bezeichnung nur auf zweckgerichtete Reaktionen anwenden, die durch den Reaktionsfehler, d.h. durch den Unterschied zwischen dem Zustand des sich verhaltenden Objekts zu einer beliebigen Zeit und dem als Zweck interpretierten Endzustand gesteuert werden. Der Begriff teleologisches Verhalten wird dadurch zu einem Synonym für den Begriff des Verhaltens, das durch negative Rückkopplung gesteuert wird, und gewinnt durch diese, genügend eingeschränkte, Bedeutung an Präzision. Mit dieser eingeschränkten Definition steht Teleologie nicht dem Determinismus, wohl aber der Nicht-Teleologie gegenüber. Sowohl teleologische als auch nicht teleologische Systeme sind deterministisch, wenn das betrachtete Verhalten zu dem Bereich gehört, in dem Determinismus anwendbar ist. Der Begriff Teleologie hat nur eines mit dem Kausalitätsbegriff gemein: die Zeitachse. Kausalität jedoch beinhaltet eine gerichtete, verhältnismäßig irreversible funktionelle Beziehung, wogegen Teleologie mit Verhalten befaßt ist, nicht jedoch mit funktionellen Beziehungen.

Für die Übersetzung verantwortlich: Dr. Rul Gunzenhäuser